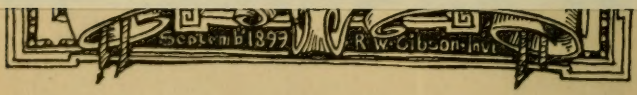
XA
.R483

Per. 4
Vol. 39
1915

THE NEW YORK BOTANICAL GARDEN
PRO SCIENTIA POPULIQUE SALUTE
1891

LIBRARY



CONSERVATOIRE
BOTANIQUE
VILLE de GENÈVE

DUPLICATA DE LA BIBLIOTHÈQUE
DU CONSERVATOIRE BOTANIQUE DE GENEVE
VENDU EN 1922

ARCHIVES

DES

SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLES

CONSERVATOIRE
BOTANIQUE
VILLE de GENÈVE

DUPLICATA DE LA BIBLIOTHÈQUE
DU CONSERVATOIRE BOTANIQUE DE GENEVE
VENDU EN 1922

GENÈVE — SOCIÉTÉ GÉNÉRALE D'IMPRIMERIE

Rue de la Pélisserie, 18

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE

ARCHIVES

DES

SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLES

CENT VINGTIÈME ANNÉE

QUATRIÈME PÉRIODE

TOME TRENTE-NEUVIÈME

LIBRARY
NEW YORK
BOTANICAL
GARDEN

CONSERVATOIRE
BOTANIQUE
VILLE de GENÈVE

GENÈVE
BUREAU DES ARCHIVES, RUE DE LA PÉLISSERIE, 18

PARIS	LONDRES	NEW-YORK
H. LE SOUDIER	DULAU & Cie	G. E. STECHERT & Co
174-176, Boul. St-Germain	37, Soho Square	151-155, W 25th Street

Dépôt pour l'ALLEMAGNE, GEORG & Cie, A BALE

1915

DUPLICATA DE LA BIBLIOTHÈQUE
DU CONSERVATOIRE BOTANIQUE DE GENEVE
VENDU EN 1922

YA
.P483
Per 4
Vol-39
1915

LA GÉOMÉTRIE

DES

FEUILLETS «COTÉS»

PAR

René de SAUSSURE

LIBRARY
NEW YORK
BOTANICAL
GARDEN

Introduction

Dans une première série d'articles parus dans les *Arch. des Sc. Ph. et Nat.*(1), je me suis efforcé de jeter les bases d'une nouvelle branche de la géométrie, à laquelle j'ai donné le nom de *Géométrie des Feuillets*. Un résumé de cette série d'articles a été publié dans les *Mém. de la Société de Physique et d'Hist. nat. de Genève,* T. XXXVI.

La géométrie des feuillets n'est pas autre chose que l'étude des formes géométriques engendrées par un *corps rigide* mobile, considéré, non pas en sa forme, ni en sa grandeur, mais seulement en sa *position* dans l'espace.

Puisque la forme du corps est indifférente, il est naturel de choisir la forme la plus simple, en réduisant le corps rigide considéré à un point M, une droite D passant par M (et affectée d'un sens), enfin un plan P passant par D (et dont les faces sont distinguées par les signes + et —). La figure (MDP), formée par ces trois éléments réunis, peut être considérée

AUG 7 - 1923

(1) Voir les articles intitulés : *Mouvement d'un fluide dans un plan,* 1898; *Théorie géométrique du mouvement des corps,* 1902, 1904, 1906; *Géométrie des feuillets,* 1906, 1909; *Les systèmes de corps solides,* 1909, 1910.

comme un corps rigide qui ne possède plus ni forme ni grandeur : c'est une simple « position », puisque ladite figure ne contient aucun élément mesurable. C'est à cette figure (MDP) que j'ai donné le nom de *feuillet*. Comme la position d'un feuillet (et par suite d'un corps rigide quelconque) dépend de 6 paramètres, on peut concevoir, dans l'espace, des systèmes de feuillets de 5 sortes différentes :

la *monosérie*	ou système de feuillets	en	nombre	∞^1,
» *bisérie*	»	»	»	∞^2,
» *trisérie*	»	»	»	∞^3,
» *tétrasérie*	»	»	»	∞^4,
» *pentasérie* (1)	»	»	»	∞^5.

Enfin, l'ensemble des feuillets de l'espace, ensemble qu'on peut appeler l'*espace feuilleté,* forme une *hexasérie* de feuillets (système de feuillets en nombre ∞^6).

Les systèmes de feuillets les plus simples sont les *séries* ou *polysèries linéaires,* lesquelles peuvent être définies de la manière suivante :

1° La pentasérie linéaire : Lorsqu'un feuillet F est soumis à une seule condition, il décrit évidemment une pentasérie. Soit Φ un feuillet fixe : on peut toujours amener le feuillet F en coïncidence avec Φ au moyen d'une certaine rotation ω autour d'un certain axe I et d'une certaine translation h dans la direction de I. Si l'on établit entre h et ω la relation :

$$h \operatorname{tang} \frac{\omega}{2} = \varphi , \tag{1}$$

φ étant une constante, le lieu des feuillets F satisfaisant à cette condition sera une pentasérie et cette pentasérie sera dite *linéaire.* Le feuillet fixe Φ est le *feuillet central* de la pentasérie et la constante φ en est le *paramètre* (2).

2. Autres polysèries linéaires : Un feuillet soumis à deux ou à plusieurs conditions décrit une polysérie qui est évidem-

(1) Toute série de feuillets dont le nombre est supérieur à ∞^1 sera désigné sous le nom général de *polysérie.*

(2) Pour les autres propriétés de la pentasérie linéaire, voir *Arch. des Sc. Ph. et Nat.*, t. XXI, p. 262 et t. XXVIII, p. 429.

ment le lieu des feuillets communs à deux ou plusieurs pentaséries. Si ces pentaséries sont toutes linéaires, leurs feuillets communs formeront une polysérie linéaire. Ainsi :

la *tétrasérie linéaire*	=	feuillets	communs	à	2	*pentaséries linéaires,*	
» *trisérie*	»	=	»	»	3	»	» ,
» *bisérie*	»	=	»	»	4	»	» ,
» *monosérie*	»	=	»	»	5	»	» .

Enfin le nombre des feuillets communs à 6 pentaséries linéaires est fini, et ce nombre est égal à *deux.*

On voit donc qu'il y a la plus grande analogie entre les systèmes de feuillets et les systèmes de droites, ou si l'on veut, entre la géométrie des feuillets (géométrie feuilletée) et la géométrie réglée. En effet, le *complexe linéaire,* en géométrie réglée, est le lieu d'une droite mobile G qui se déplace par rapport à une droite fixe Γ, de telle façon que :

$$k \operatorname{tang} \alpha = \gamma , \qquad (2)$$

k étant la plus courte distance et α l'angle des droites G et Γ, tandis que γ est une constante. La droite fixe Γ est l'*axe* du complexe linéaire et la constante γ en est le *paramètre.* Ce complexe est donc analogue à la pentasérie linéaire, car les grandeurs k et α caractérisent l'intervalle entre les droites G et Γ, comme les grandeurs h et ω caractérisent l'intervalle entre les deux feuillets F et Φ.

De même, les autres formes linéaires de la géométrie réglée ont des définitions analogues aux formes correspondantes de la géométrie feuilletée. Ce sont :

la *congruence linéaire*	on droites	communes	à 2	*complexes linéaires,*	
l'*hyperboloïde* (réglé)	»	»	3	»	» ,
le *couple de droites*	»	»	4	»	» .

Pour compléter la comparaison entre ces deux géométries, rappelons que nous avons appelé *feuillets inverses,* deux feuillets symétriques l'un de l'autre par rapport à un plan ; *feuillets contraires,* deux feuillets symétriques l'un de l'autre par rapport à une droite ; *feuillets réciproques,* deux feuillets tels que l'on

peut passer de l'un à l'autre par une simple rotation, et *feuillets opposés,* deux feuillets tels que la rotation du mouvement hélicoïdal qui mène de l'un à l'autre est égale à 180 degrés. On voit alors facilement que 2 feuillets réciproques correspondent en géométrie réglée à 2 droites qui se rencontrent; 2 feuillets opposés correspondent à 2 droites perpendiculaires; par suite, 2 feuillets qui sont à la fois réciproques et opposés, c'est-à-dire deux feuillets contraires[1], correspondront à 2 droites qui se coupent à angle droit.

Remarquons que, dans la géométrie des feuillets, les angles sont toujours le double des angles correspondants en géométrie réglée. Cela tient à ce qu'un feuillet (ou un corps rigide quelconque) doit pivoter sur lui-même de 360 degrés pour coïncider de nouveau avec sa position primitive, tandis qu'une rotation de 180 degrés suffit pour ramener une droite en coïncidence avec elle-même. C'est pourquoi l'équation synthétique de la pentasérie linéaire de feuillets (h tang $\frac{\omega}{2} = \varphi$) contient l'angle $\frac{\omega}{2}$, tandis que celle du complexe linéaire de droite (k tang $\alpha = \gamma$) contient l'angle α lui-même.

Naturellement, la géométrie feuilletée est plus riche en formes que la géométrie réglée, puisque la position d'un feuillet dépend de 6 paramètres, tandis que celle d'une droite ne dépend que de 4 paramètres.

Des droites cotées. — L'étude des systèmes de points, ou *géométrie ponctuelle* (seule connue des anciens) a conduit dans les temps modernes à l'étude des systèmes de plans, ou *géométrie tangentielle.* On s'était aperçu, en effet, que si 3 points déterminent un plan, réciproquement 3 plans déterminent un point. On eut alors l'idée de prendre le plan comme élément spatial primitif, et l'on constata une réciprocité complète entre les systèmes de points et les systèmes de plans.

De même, si l'on veut se faire aujourd'hui une idée complète de la géométrie réglée, il ne suffit pas d'étudier les systèmes

[1]) En effet, deux feuillets qui sont à la fois réciproques et opposés sont évidemment aussi *symétriques l'un de l'autre par rapport à une droite.*

de droites : il faut aussi étudier les *systèmes de complexes linéaires,* puisque ce complexe joue en géométrie réglée le même rôle que le plan en géométrie ponctuelle. Il est vrai qu'il n'y a pas réciprocité entre une droite et un complexe linéaire comme il y en a entre un point et un plan, car 5 droites déterminent un complexe linéaire, tandis que 5 complexes linéaires n'ont pas en général de droite commune. Mais il existe un autre lien entre une droite et un complexe linéaire : celui-ci est complètement déterminé par son axe Γ et par son paramètre γ. Un complexe linéaire est donc, en tant qu'élément spatial, équivalent à une droite Γ affectée d'un coefficient numérique γ. L'ensemble de la droite Γ et de son coefficient (ou *cote*) γ peut être désigné sous le nom de *droite cotée,* et représenté par le symbole $\Gamma(\gamma)$. Ainsi l'étude des systèmes de complexes linéaires est ramenée à l'étude des systèmes de droites cotées.

Du reste, au point de vue géométrique, une droite cotée n'est pas autre chose que ce que R. S. Ball a appelé une *vis* [1]. Les systèmes de droites cotées sont donc identiques aux systèmes de vis de Ball et il n'y a pas lieu d'en recommencer ici l'étude. Il suffira de rappeler la définition suivante :

Deux droites cotées $G(g)$ et $\Gamma(\gamma)$ sont dites « complémentaires » [2] *l'une de l'autre, lorsque la somme de leurs cotes $(g+\gamma)$ satisfait à la relation :*

$$g + \gamma = k \operatorname{tang} \alpha \,, \tag{3}$$

k étant la plus courte distance et α l'angle des deux droites G et Γ.

Etant donnée une droite cotée $\Gamma(\gamma)$, toute droite G de l'espace peut être rendue complémentaire de $\Gamma(\gamma)$: il suffit pour cela d'assigner à la droite G une cote $g = k \operatorname{tang} \alpha - \gamma$, puisque la cote γ est donnée et que les quantités k et α sont connues par la position relative des droites G et Γ. Donc : le

[1]) Voir *Theory of Screws,* par R. S. Ball, Dublin, 1876.

[2]) Les droites cotées *complémentaires* sont identiques aux *Vis réciproques* de R. S. Ball. Comme nous avons déjà employé le terme de « réciproque » dans un autre sens en géométrie feuilletée, nous avons adopté le terme « complémentaire » pour éviter toute confusion.

lieu des droites complémentaires d'une droite donnée $\Gamma(\gamma)$ forme une tétrasérie : c'est cette tétraserie fondamentale que Ball appelle le « complexe de vis du 5e ordre » *(screw complex of the fifth order)*. Mais, afin d'introduire une terminologie rationnelle et symétrique, nous préférons donner à cette tétrasérie le nom de *tétrafaisceau*. Ainsi : *le lieu des droites cotées complémentaires d'une droite cotée fixe $\Gamma(\gamma)$ est un tétrafaisceau.*

Les autres systèmes fondamentaux de droites cotées sont alors :

le *trifaisceau*	ou droites cotées	communes	à	2	*tétrafaisceaux*,	
» *bifaisceau*	»	»	»	3	»	,
» *monofaisceau*	»	»	»	4	»	.

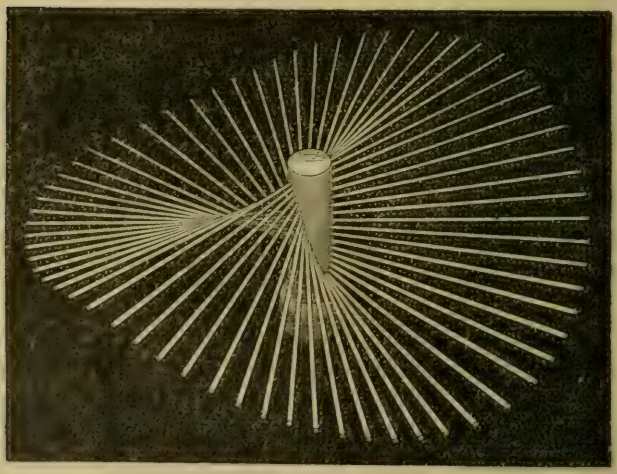


Fig. 1. — Le monofaisceau.

Ball a montré que *le monofaisceau n'est pas autre chose qu'un conoïde de Plücker (fig. 1), dont chaque génératrice G est affectée d'une cote* g *déterminée par la relation :*

$$g = a \cos^2 \theta + b \sin^2 \theta \ , \qquad (4)$$

a et b étant des constantes. et θ l'angle de la génératrice G avec une génératrice fixe convenablement choisie[1].

Lorsque la constante $a = b$, on a $g = a$, c'est-à-dire que toutes les génératrices du conoïde ont la même cote; dans ce cas, le conoïde se réduit à un *faisceau* de droites situées dans un même plan.

On voit donc que le monofaisceau de droites cotées est une généralisation du faisceau de droites, ce qui justifie notre terminologie.

Du reste, pour montrer que toute la géométrie des droites cotées est une généralisation de la géométrie réglée, il suffit de constater que : *dans tout tétrafaisceau l'ensemble des droites G (g) qui ont une même cote forme un complexe linéaire.* En effet, dans la relation $g + \gamma = k \operatorname{tang} \alpha$, la cote γ de l'axe Γ est une constante: si donc on assujettit la cote g de la droite G (g) à être constante, on aura : $k \operatorname{tang} \alpha =$ const., c'est-à-dire que le lieu de la droite G sera un complexe linéaire. En posant $g = 0$, on voit que : le complexe linéaire n'est pas autre chose que l'ensemble des droites d'un tétrafaisceau qui ont une cote nulle.

De même, la congruence linéaire est l'ensemble des droites de cote nulle dans un trifaisceau; l'hyperboloïde (réglé) est l'ensemble des droites de cote nulle dans un bifaisceau ; enfin le « couple de droites » est l'ensemble des droites de cote nulle dans un monofaisceau.

En d'autres mots, toutes les formes linéaires de la géométrie réglée se retrouvent dans les systèmes fondamentaux de droites cotées, lorsqu'on extrait de ces systèmes toutes les droites qui ont une cote nulle. C'est pourquoi l'on peut considérer une droite ordinaire comme une droite cotée dont la cote est nulle.

Après cette récapitulation sommaire des propriétés des feuillets et des propriétés des droites cotées, nous pouvons aborder maintenant l'étude des *feuillets cotés*.

[1] Voir *Theory of Screws*, p. 19. Ball désigne le conoïde de Plücker, sous le nom de *Cylindroid*, et le monofaisceau sous le nom de *screw-complex of the 2d order*.

I. Généralités sur les feuillets cotés

Nous avons vu que le système fondamental de feuillets est la pentasérie linéaire. Cette pentasérie joue en géométrie feuilletée le même rôle que le complexe linéaire en géométrie réglée, c'est pourquoi il y a lieu d'étudier non seulement les systèmes de feuillets, mais aussi les *systèmes de pentaséries linéaires*. Mais pour définir complètement une pentasérie linéaire, il suffit de se donner son feuillet central Φ ainsi que son paramètre φ; donc, en tant qu'élément spatial, une pentasérie linéaire est équivalente à un feuillet Φ affecté d'un coefficient numérique (ou *cote*) φ, c'est-à-dire à un *feuillet coté*, que l'on désignera par le symbole $\Phi(\varphi)$. Les systèmes de pentaséries linéaires se réduisent ainsi aux systèmes de feuillets cotés.

Puisque la géométrie feuilletée est analogue à la géométrie réglée, on peut présumer que les systèmes de feuillets cotés seront analogues aux systèmes de droites cotées (systèmes de Ball).

Aux droites de cote nulle correspondront des feuillets de cote nulle; par conséquent, un feuillet ordinaire F peut être assimilé à un *feuillet de cote nulle*, c'est-à-dire que toute la géométrie des feuillets rentre dans celle des feuillets cotés, dont elle n'est qu'un cas particulier.

Définition. — *Deux feuillets cotés $F(f)$ et $\Phi(\varphi)$* sont dits *« complémentaires » l'un de l'autre, lorsque la somme de leurs cotes $(f + \varphi)$ satisfait à la relation :*

$$f + \varphi = h \operatorname{tang} \frac{\omega}{2},$$

h étant la translation et ω la rotation du mouvement hélicoïdal qui permet de passer de la position F à la position Φ.

Cette définition est tout à fait analogue à celle des droites cotées complémentaires, mais ici encore il faut remarquer que c'est la moitié de l'angle ω qui entre en jeu, tandis que pour les droites cotées c'est l'angle α lui-même.

Cas particuliers. — Si les feuillets F et Φ sont réciproques, il suffit, pour qu'ils soient complémentaires, que la somme de leurs cotes soit nulle, car si $h = 0$, la relation $f + \varphi = h \operatorname{tang} \frac{\omega}{2}$ se réduit à : $f + \varphi = 0$.

Si deux feuillets sont à la fois réciproques et opposés (feuillets contraires), ils sont toujours complémentaires, quelles que soient leurs cotes, car si

$$h = 0 \qquad \text{et} \qquad \omega = \pi \ .$$

le produit $\left(h \operatorname{tang} \frac{\omega}{2}\right)$ devient indéterminé.

Hexasérie fondamentale. — Le lieu des feuillets F (f) complémentaires d'un feuillet donné Φ (φ) forme une hexasérie, car l'espace contient une sextuple infinité de feuillets et un feuillet quelconque F peut être rendu complémentaire du feuillet Φ (φ) : il suffit, pour cela, en effet, d'assigner au feuillet F une cote f déterminée par la relation :

$$f = h \operatorname{tang} \frac{\omega}{2} - \varphi \ ,$$

car la cote φ est donnée, et d'autre part, les grandeurs h et ω sont déterminées par la position relative des feuillets F et Φ.

L'hexasérie ainsi obtenue, en assignant à tous les feuillets de l'espace des cotes appropriées, joue un rôle fondamental dans la géométrie des feuillets cotés. Pour des raisons que nous exposerons plus loin, nous donnerons à cette hexasérie le nom d'*hexacouronne*. On peut donc dire que l'*hexacouronne est le lieu des feuillets F (f) complémentaires d'un feuillet donné Φ (φ).*

Autres séries fondamentales. — On peut définir toutes les autres séries fondamentales comme le lieu des feuillets cotés communs à deux ou à plusieurs hexacouronnes. Ainsi :

la *pentacouronne*	=	feuillets	cotés	communs	à 2	*hexacouronnes*,	
» *tétracouronne*	=	»	»	»	3	»	,
» *tricouronne*	=	»	»	»	4	»	,
» *bicouronne*	=	»	»	»	5	»	,
» *monocouronne*	=	»	»	»	6	»	.

Enfin, le nombre des feuillets cotés communs à 7 hexacouronnes est un nombre fini. Nous verrons que ce nombre est égal à l'unité.

Remarque. — Comme une hexacouronne est le lieu des feuillets F (f) qui sont complémentaires d'un feuillet donné $\Phi(\varphi)$, les feuillets communs à plusieurs hexacouronnes sont donc les feuillets qui sont complémentaires de plusieurs feuillets donnés $\Phi_1(\varphi_1)$, $\Phi_2(\varphi_2)$.....

On peut donc aussi définir les séries fondamentales (ou *polycouronnes*), de la façon suivante :

l'*hexacouronne*	=	feuillets complémentaires de	1	feuillet donné,	
la *pentacouronne*	=	» »	2	feuillets donnés,	
» *tétracouronne*	=	» »	3	» »	,
» *tricouronne*	=	» »	4	» »	,
» *bicouronne*	=	» »	5	» »	,
» *monocouronne*	=	» »	6	» »	.

Enfin, il existe un feuillet coté, et un seul, qui soit complémentaire de 7 feuillets donnés (voir plus loin la démonstration de cet important théorème).

II. La monocouronne

Les définitions précédentes sont suffisantes pour déterminer théoriquement les différents systèmes fondamentaux de feuillets cotés, mais pour se rendre compte de leur forme et de leurs propriétés, il faut en faire l'étude dans l'ordre inverse, c'est-à-dire en commençant par la monocouronne.

Nous allons donc chercher une nouvelle définition de la monocouronne en nous basant sur l'analogie qui existe entre les systèmes de feuillets et les systèmes de droites :

Au *faisceau* (plan) en géométrie réglée correspond en géométrie feuilletée la *couronne*, c'est-à-dire le lieu décrit par un feuillet qui subit une rotation autour d'un axe fixe[1]. Or, le

[1] J'ai introduit le terme de *couronne* pour la première fois dans les *Arch. des Sc. Ph. et Nat.*, t. XIII, p. 443.

monofaisceau (système fondamental de droites cotées) étant une généralisation du faisceau, il est à prévoir que la *monocouronne* (système fondamental de feuillets cotés) est une généralisation de la couronne. Remarquons, d'autre part, qu'une couronne peut être considérée comme le lieu des feuillets F qui sont symétriques d'un feuillet fixe F_0 par rapport aux différentes droites d'un faisceau (plan). En remplaçant simplement le mot « faisceau » par « monofaisceau », et le mot « couronne » par « monocouronne », nous arrivons à la définition suivante :

Une monocouronne est le lieu des feuillets cotés F (f) qui sont symétriques d'un feuillet fixe F_0 par rapport aux différentes génératrices d'un monofaisceau (c'est-à-dire d'un conoïde de Plücker).

Nous allons donc partir de cette nouvelle définition et montrer par une série de déductions qu'elle concorde avec la définition de la monocouronne donnée à la fin du paragraphe précédent. Mais auparavant il faut compléter la définition ci-dessus en indiquant comment les cotes f des feuillets de la monocouronne sont déterminées : lorsqu'un corps quelconque se déplace en restant symétrique d'un corps fixe par rapport à une droite mobile G, le déplacement de ce corps est égal au double du déplacement de la droite G. Si donc le corps mobile est un feuillet coté F (f) et si la droite de symétrie G est une droite cotée G (g), et si enfin l'on veut faire dépendre la cote f (du feuillet F) de la cote g (de la droite correspondante G), il est naturel de donner à chaque instant à la cote f une valeur double de la cote g.

Nous admettrons donc provisoirement (et jusqu'à preuve définitive) que la monocouronne peut être engendrée de la façon suivante : *on prend un feuillet fixe F_0 et un monofaisceau,* (c'est-à-dire un conoïde de Plücker dont les génératrices G sont cotées d'après la loi $g = a \cos^2\theta + b \sin^2\theta$, donnée plus haut) *et l'on construit tous les feuillets F (f) symétriques de F_0 par rapport aux différentes génératrices G (g) du monofaisceau,* entendant par là non seulement que le feuillet F est symétrique de F_0 par rapport à G, mais aussi que la cote f assignée à F est double de la cote correspondante g.

De cette définition résultent pour la monocouronne deux propriétés fondamentales, qui sont la conséquence directe des propriétés correspondantes du monofaisceau. Tout d'abord, Ball a montré[1] que : « par 2 droites cotées données G_1 (g_1) et G_2 (g_2) on peut faire passer un monofaisceau, et on n'en peut faire passer qu'un seul ». Nous allons donc démontrer la proposition suivante :

Théorème I. — *Par 2 feuillets cotés F_1 (f_1) et F_2 (f_2), on peut faire passer une monocouronne, et on n'en peut faire passer qu'une seule.*

Soit I l'axe du mouvement hélicoïdal qui permet de passer de la position F_1 à la position F_2 (fig. 2) ; soit h la translation et ω la rotation de ce mouvement hélicoïdal. Construisons une

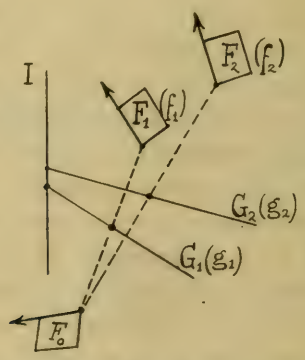


Fig. 2.

droite G_1, d'ailleurs quelconque, qui rencontre l'axe I à angle droit ; et soit F_0 le feuillet symétrique du feuillet F_1 par rapport à la droite G_1. Si l'on construit une seconde droite G_2 rencontrant l'axe I à angle droit et de telle façon que la plus courte distance de G_1 à G_2 soit égale à $h/2$ et que l'angle de G_1 avec G_2 soit $\frac{\omega}{2}$, le feuillet F_0 sera aussi symétrique du feuillet F_2 par rapport à la droite G_2 (car lorsque la droite G_1 tourne de l'angle $\omega/2$ et glisse de la longueur $h/2$, le feuillet correspondant F_1

[1]) Voir *Theory of Screws*, p. 20.

tourne de l'angle ω et glisse de la longueur h, c'est-à-dire qu'il vient coïncider avec F_2.

Attribuons respectivement aux droites G_1 et G_2 des cotes g_1 et g_2 égales à la moitié des cotes données f_1 et f_2. Le monofaisceau qui passe par les deux droites cotées G_1 (g_1) et G_2 (g_2) est alors entièrement déterminé. Si donc on construit tous les feuillets cotés symétriques du feuillet F_0 par rapport aux génératrices de ce monofaisceau, on obtiendra une monocouronne qui contiendra évidemment les 2 feuillets donnés F_1 (f_1) et F_2 (f_2).

Reste à démontrer que cette monocouronne est unique : Premièrement, l'axe I est unique ; deuxièmement, si l'on prend comme droite G_1 une autre droite rencontrant I à angle droit, la position du feuillet F_0 sera modifiée, ainsi que celle de la droite G_2 ; mais la distance et l'angle compris entre les droites G_1 et G_2 resteront les mêmes, puisque ces grandeurs sont égales à $h/2$ et $\omega/2$, et que les quantités h et ω ne dépendent que de la position relative des deux feuillets donnés F_1 et F_2 ; en outre, les cotes des nouvelles droites G_1 et G_2 resteront aussi les mêmes, puisque ces cotes doivent toujours être la moitié des deux cotes données f_1 et f_2. Donc, tout le monofaisceau $[G_1 (g_1), G_2 (g_2)]$ déterminé par les droites G_1 (g_1) et G_2 (g_2) est resté le même ; il a seulement tourné et glissé sur son axe I, mais comme le feuillet F_0 a aussi tourné et glissé d'une quantité double, le lieu des feuillets symétriques F (f) restera le même. Il n'existe donc qu'une seule monocouronne contenant les deux feuillets donnés F_1 (f_1) et F_2 (f_2). (C. Q. F. D.)

Corollaire. — *Toute monocouronne peut être engendrée d'une double infinité de manières différentes* par le déplacement d'un feuillet F (f) qui reste symétrique d'un feuillet fixe F_0 par rapport aux différentes génératrices d'un monofaisceau. En effet, nous venons de voir que si l'on déplace le monofaisceau générateur d'une façon quelconque autour ou le long de son axe I, on obtient la même monocouronne, pourvu que le feuillet générateur F_0 soit aussi déplacé d'une quantité double autour ou le long du même axe.

La seconde propriété fondamentale d'un monofaisceau,

démontrée par Ball[1], est la suivante : « si une droite cotée $\Gamma(\gamma)$ est complémentaire de 2 droites données $G_1(g_1)$ et $G_2(g_2)$, elle est aussi complémentaire de toutes les génératrices du monofaisceau $[G_1(g_1), G_2(g_2)]$ déterminé par ces deux droites cotées » Nous allons en déduire la proposition suivante, qui joue un rôle fondamental dans la géométrie des feuillets cotés :

Théorème II. — *Si un feuillet coté $\Phi(\varphi)$ est complémentaire de 2 feuillets donnés $F_1(f_1)$ et $F_2(f_2)$, il est aussi complémentaire de tous les feuillets de la monocouronne $[(F_1(f_1), F_2(f_2)]$ déterminée par ces deux feuillets cotés.*

Pour prouver ce théorème, il faut d'abord démontrer le lemme suivant :

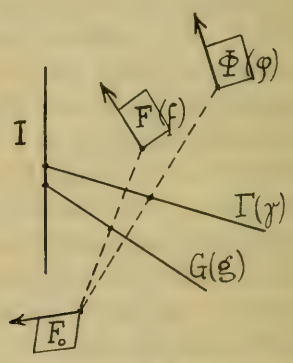


Fig. 3.

Lemme. — Etant données 2 droites cotées $G(g)$ et $\Gamma(\gamma)$ et un feuillet F_0, construisons les feuillets cotés $F(f)$ et $\Phi(\varphi)$ respectivement symétriques du feuillet F_0 par rapport aux droites cotées[2] $G(g)$ et $\Gamma(\gamma)$; je dis que *si les droites $G(g)$ et $\Gamma(\gamma)$ sont des droites complémentaires, les feuillets $F(f)$ et $\Phi(\varphi)$ seront aussi des feuillets complémentaires et réciproquement* (fig. 3).

[1]) Voir *Theory of Screws*, p. 22.

[2]) Rappelons encore une fois que l'expression « feuillet coté $F(f)$ symétrique d'un feuillet F_0 par rapport à une droite cotée $G(g)$ » signifie non seulement que le feuillet F est symétrique du feuillet F_0 par rapport à la droite G, mais aussi que la cote f est le double de la cote g.

En effet, soit α l'angle et k la plus courte distance des droites G et Γ. Puisque ces droites sont complémentaires, on a entre leurs cotes la relation :

$$g + \gamma = k \operatorname{tang} \alpha \ . \tag{5}$$

D'autre part, si I est la perpendiculaire commune aux droites G et Γ, et si ω et h sont la rotation et la translation nécessaires pour amener le feuillet F en coïncidence avec Φ (au moyen de l'axe I), on a évidemment : $\omega = 2\alpha$, et $h = 2k$. Enfin, les cotes des feuillets F et Φ satisfont aux relations : $f = 2g$ et $\varphi = 2\gamma$. En introduisant ces valeurs dans la relation (5), celle-ci devient :

$$\frac{f}{2} + \frac{\varphi}{2} = \frac{h}{2} \operatorname{tang} \frac{\omega}{2} \ ,$$

c'est-à-dire :

$$f + \varphi = h \operatorname{tang} \frac{\omega}{2} \ .$$

Or, cette dernière relation exprime précisément que les feuillets F et Φ sont complémentaires l'un de l'autre. Le lemme est donc démontré.

Remarque. — Nous nous sommes appuyés, pour la démonstration ci-dessus, sur le fait que les cotes f sont doubles des cotes g. Ainsi, se trouve justifiée la notion que nous avons introduite d'un feuillet coté F (f) symétrique d'un feuillet F_0 par rapport à une droite cotée G (g).

Revenons maintenant à la démonstration du théorème II :

Soit $\Phi(\varphi)$ un feuillet complémentaire de 2 feuillets donnés $F_1(f_1)$ et $F_2(f_2)$, je dis que $\Phi(\varphi)$ sera aussi complémentaire de tous les feuillets de la monocouronne $[F_1(f_1), F_2(f_2)]$.

Nous avons montré, dans un article antérieur, qu'étant donnés 3 corps égaux C_1, C_2, C_3, occupant des positions quelconques, il existe un corps C_0, et un seul, qui soit respectivement symétrique des 3 corps donnés par rapport à 3 droites G_1, G_2, G_3, convenablement choisies [1].

Construisons donc le feuillet F_0 respectivement symétrique des 3 feuillets donnés F_1, F_2 et Φ, et soient G_1, G_2 et Γ, les

[1]) Voir *Arch. des Sc. Ph. et Nat.*, t. XXI, p. 44. Cette proposition a d'ailleurs déjà été établie par Halphen, sauf erreur.

3 droites de symétrie (fig. 4). Si l'on attribue à ces droites des cotes g_1, g_2 et γ respectivement égales à la moitié des cotes f_1, f_2 et φ des feuillets correspondants, la droite cotée $\Gamma(\gamma)$ deviendra complémentaire des droites cotées $G_1(g_1)$ et $G_2(g_2)$, en vertu du lemme. Nous savons qu'alors la droite $\Gamma(\gamma)$ est aussi complémentaire de toutes les génératrices du monofaisceau $[G_1(g_1), G_2(g_2)]$. Soit donc I l'axe de ce monofaisceau et $G(g)$ l'une quelconque de ses génératrices : puisque cette génératrice est complémentaire de la droite $\Gamma(\gamma)$, le feuillet coté $F(f)$ symétrique du feuillet F_0 par rapport à la droite cotée $G(g)$ sera aussi complémentaire du feuillet $\Phi(\varphi)$, toujours en vertu du lemme. Mais le feuillet $F(f)$ appartient, de par sa cons-

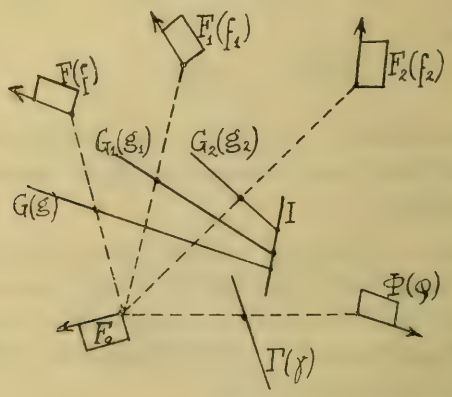


Fig. 4.

truction, à la monocouronne $[F_1(f_1), F_2(f_2)]$. Ainsi le feuillet $\Phi(\varphi)$ est bien complémentaire d'un feuillet quelconque $F(f)$ de cette monocouronne. (C. Q. F. D.)

Nous pouvons maintenant démontrer que la définition de la monocouronne, donnée au commencement de ce paragraphe concorde avec la première définition : *la monocouronne est le lieu des feuillets F(f) communs à 6 hexacouronnes*. Pour cela, il suffit de démontrer que cette proposition reste vraie lorsqu'on donne au terme *monocouronne* son second sens.

Tout d'abord, le lieu des feuillets $F(f)$ communs à 6 hexacouronnes est une monosérie (série de feuillets en nombre ∞^1),

puisque ce lieu est celui d'un feuillet coté, soumis à 6 conditions, et qu'un tel feuillet dépend de 7 paramètres.

Je dis que cette monosérie ne peut être qu'une monocouronne : en effet, prenons 2 feuillets quelconques $F_1(f_1)$ et $F_2(f_2)$ dans cette monosérie. Par définition, la première hexacouronne est le lieu des feuillets complémentaires d'un feuillet donné $\Phi_1(\varphi_1)$. Donc, d'après le théorème II, tous les feuillets de la monocouronne $[F_1(f_1), F_2(f_2)]$ sont complémentaires de $\Phi_1(\varphi_1)$, puisque $F_1(f_1)$ et $F_2(f_2)$ le sont déjà.

La deuxième hexacouronne est le lieu des feuillets complémentaires d'un feuillet donné $\Phi_2(\varphi_2)$, et l'on verrait de même que tous les feuillets de la monocouronne $[F_1(f_1), F_2(f_2)]$ sont aussi complémentaires de $\Phi_2(\varphi_2)$. En continuant le raisonnement, on verra que tous les feuillets de la monocouronne $[F_1(f_1), F_2(f_2)]$ sont complémentaires des feuillets $\Phi_3(\varphi_3)$, $\Phi_4(\varphi_4)$, $\Phi_5(\varphi_5)$, $\Phi_6(\varphi_6)$ relatifs aux autres hexacouronnes.

La monocouronne $[F_1(f_1), F_2(f_2)]$ coïncide donc bien avec l'intersection des 6 hexacouronnes, puisque tous ses feuillets sont complémentaires de chacun des feuillets $\Phi_1(\varphi_1)$, $\Phi_2(\varphi_2)$, ... $\Phi_6(\varphi_6)$. (C. Q. F. D.)

Forme de la monocouronne. — Soit $F(f)$ un feuillet coté qui décrit une monocouronne. Comme on le sait, ce feuillet se compose d'un point M, d'une droite D et d'un plan P. Cherchons la forme de la trajectoire décrite par le point M.

Pour engendrer la monocouronne, on considère un feuillet fixe $(M_0 D_0 P_0)$ et un monofaisceau. L'axe I de ce monofaisceau est aussi l'axe de la monocouronne, et celle-ci est le lieu des feuillets (MDP) symétriques du feuillet $(M_0 D_0 P_0)$ par rapport aux différentes génératrices du monofaisceau. La trajectoire décrite par le point M est donc le lieu des points symétriques de M_0. Or ce lieu est semblable (le rapport de proportion étant égal à 2) au lieu formé par les pieds des perpendiculaires abaissées du point M_0 sur les différentes génératrices du monofaisceau. Comme la surface du monofaisceau est un conoïde de Plücker, les pieds de ces perpendiculaires forment une ellipse, ainsi que Ball l'a montré[1], et la projection de cette ellipse sur

[1]) Voir *Theory of Serews*, p. 22.

un plan perpendiculaire à l'axe du conoïde est un cercle. Donc, le lieu du point M est une ellipse semblable et l'on voit que *lorsqu'un feuillet (MDP) décrit une monocouronne, le point M décrit une ellipse portée par un cylindre de révolution dont l'axe coïncide avec celui de la monocouronne* (fig. 5). Cette ellipse sera appelée *base* de la monocouronne.

Cas particuliers. — 1° Lorsque le monofaisceau générateur se réduit à un faisceau (plan) de droites, l'ellipse décrite par le point M se réduit à un *cercle* dont le plan est perpendiculaire à l'axe de la monocouronne et dans ce cas, la monocouronne se réduit elle-même à une couronne ordinaire[1] (fig. 6).

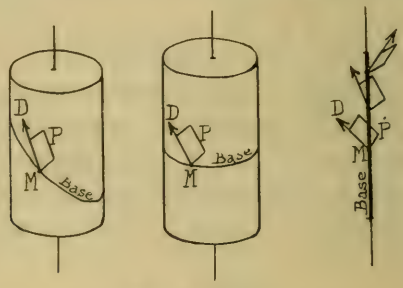


Fig. 5, 6 et 7.

2° Lorsque le point M se trouve sur l'axe I, la base elliptique se réduit à un segment de droite porté par cet axe (fig. 7). Pendant que le point M parcourt ce segment, le feuillet (MDP) tourne autour de l'axe I.

3° Lorsque l'axe I est à l'infini, la base de la monocouronne devient une ligne droite et tous les feuillets (MDP) sont parallèles entre eux.

Propriétés de la monocouronne. — 1° Ces propriétés se déduisent immédiatement de celles du monofaisceau[2] qui sert

[1]) Dans mes articles antérieurs (*Arch. des Sc. Ph. et Nat.*, t. XXI, p. 36), j'ai appelé *mouvement de torsion* le mouvement d'un corps C qui reste symétrique d'un corps fixe C_0 par rapport à une droite mobile G. On peut donc dire qu'un feuillet qui décrit une monocouronne subit un mouvement de torsion, et lorsque la torsion se réduit à une rotation, le monocouronne se réduit à une couronne.

[2]) Pour les propriétés du monofaisceau, voir *Theory of Screws*, p. 14 et suivantes.

à engendrer la monocouronne. Ainsi par exemple nous avons vu que la loi de distribution des cotes sur les génératrices G (g) d'un monofaisceau est :

$$g = a \cos^2 \theta + b \sin^2 \theta .$$

Dans cette relation θ est l'angle que fait la génératrice G avec une certaine génératrice G_1 prise comme origine des angles. Lorsque $\theta = 0$, $g = a$, et lorsque $\theta = \frac{\pi}{2}$, $g = b$. Les constantes a et b sont donc les cotes de deux génératrices particulières G_1 et G_2, savoir les deux génératrices du conoïde qui se rencontrent à angle droit. On a donc :

$$g = g_1 \cos^2 \theta + g_2 \sin^2 \theta .$$

Aux génératrices $G_1 (g_1)$ et $G_2 (g_2)$ correspondent dans la monocouronne 2 feuillets $F_1 (f_1)$ et $F_2 (f_2)$ situés aux deux extrémités du petit axe de l'ellipse de base. Comme $f_1 = 2g_1$ et $f_2 = 2g_2$, la loi de distribution des cotes sur les feuillets d'une monocouronne est donc :

$$f = f_1 \cos^2 \frac{\psi}{2} + f_2 \sin^2 \frac{\psi}{2} ,$$

ψ étant l'angle de rotation du mouvement hélicoïdal qui permet d'amener le feuillet F en coïncidence avec F_1.

2° Si l'on se donne f, l'angle correspondant ψ est déterminé par une équation du second degré. *Il y a donc 2 feuillets dans la monocouronne qui ont une cote donnée.*

3° *Si l'on augmente ou diminue d'une même quantité les cotes de tous les feuillets d'une monocouronne, celle-ci reste une monocouronne.*

Cette propriété n'est pas spéciale à la monocouronne ; elle se retrouve dans toute polycouronne. En effet, nous avons vu que toute polycouronne peut être définie comme le lieu des feuillets F (f) complémentaires d'un certain nombre de feuillets donnés $\Phi_1 (\varphi_1)$, $\Phi_2 (\varphi_2)$, etc. Or les relations

$$f + \varphi = h \operatorname{tang} \frac{\omega}{2} ,$$

par lesquelles on exprime que les feuillets F (f) sont complémentaires des feuillets $\Phi (\varphi)$, restent satisfaites si l'on aug-

mente les cotes f d'une même quantité, pourvu que l'on diminue les cotes φ de la même quantité, puisque cette double opération ne modifie pas la somme $f + \varphi$.

Justification de la terminologie. — Pour justifier les termes *bicouronne, tricouronne, ... polycouronne,* que nous avons introduits, il suffit de remarquer que toutes ces polycouronnes peuvent être définies au moyen de la monocouronne de la façon suivante :

Une polycouronne est un système de feuillets cotés, tels que si l'on prend dans le système 2 feuillets quelconques, la monocouronne déterminée par ces 2 feuillets fait elle-même partie du système.

En effet, toute polycouronne est le lieu des feuillets $F(f)$ complémentaires d'un certain nombre de feuillets donnés $\Phi_1(\varphi_1)$, $\Phi_2(\varphi_2)$, etc. Donc, si $F_1(f_1)$ et $F_2(f_2)$ sont deux feuillets de la polycouronne, ces deux feuillets sont complémentaires de chaque feuillet $\Phi(\varphi)$, donc, tous les feuillets de la monocouronne $[F_1(f_1), F_2(f_2)]$ sont aussi complémentaires de chaque feuillet $\Phi(\varphi)$ (d'après le théorème II) ; par suite, cette monocouronne fait toute entière partie de la polycouronne donnée. (C. Q. F. D.)

Du reste, les systèmes de droites cotées, étudiés par Ball jouissent d'une propriété analogue, ce qui justifie les noms de *bifaisceau, trifaisceau, ..., polyfaisceau,* par lesquels nous avons désigné ces systèmes. En effet : « un polyfaisceau est un système de droites cotées, tel que si l'on prend dans le système 2 droites quelconques, le monofaisceau déterminé par ces 2 droites fait lui-même partie du système. »

Cette définition rappelle celle du plan en géométrie élémentaire : « le plan est une surface telle que, si l'on prend 2 points quelconques de cette surface et que l'on joigne ces 2 points par une droite, cette droite est située toute entière sur la surface ».

(A suivre).

LA STABILITÉ

DES

ÉQUILIBRES THERMODYNAMIQUES

ET LA

MÉCANIQUE STATISTIQUE

PAR

A. SCHIDLOF

On sait que la thermodynamique classique est impuissante à expliquer une certaine catégorie de phénomènes dont le mouvement brownien forme le type le plus frappant et le plus connu. L'étude de ces phénomènes a fourni des « experimenta crucis » en faveur des théories cinéto-moléculaires et statistiques. Il ne peut plus être question d'opposer la thermodynamique abstraite à la théorie cinétique ; la mécanique statistique a fait ses preuves et s'est révélée comme un outil puissant pour la découverte des vérités nouvelles.

J. W. Gibbs et plus récemment A. Einstein ont donné à cette théorie une forme très générale et l'ont débarrassée des modèles particuliers qui ont joué pendant longtemps le principal rôle dans le développement de la théorie mécanique de la chaleur, et sans lesquels elle n'aurait probablement jamais vu le jour. Malheureusement sous sa forme abstraite la théorie statistique rebute l'esprit par des considérations qui semblent artificielles et dont on pourrait méconnaître l'utilité, vu surtout la longueur

des raisonnements nécessaires pour arriver de la théorie pure aux faits naturels.

Comparée à ces conceptions, simples au fond, mais d'une forme qui pour être générale doit être bien compliquée, la thermodynamique classique, également très générale et très abstraite, a l'avantage de reposer sur deux principes d'une signification claire, fournis directement par l'expérience. Cela justifie peut être la préférence que lui ont donné pendant longtemps certains esprits.

Etant donnée la grande importance qu'ont acquis les résultats de la théorie statistique pour la science en général nous avons pensé que l'exposé d'une méthode élémentaire permettant d'atteindre quelques-uns de ces résultats ne serait pas dépourvu d'intérêt.

Dans les pages qui suivent nous avons pris pour point de départ la thermodynamique abstraite. Notre but était d'indiquer une voie qui semble conduire d'une façon bien naturelle de la thermodynamique abstraite aux théories cinéto-moléculaires. [1]

I. La stabilité des équilibres thermodynamiques

Un système isolé est, d'après le second principe de la thermodynamique, en équilibre lorsque son entropie est maximum. Il est donc nécessaire dans ce cas que la variation de l'entropie S, correspondant à une variation virtuelle des paramètres indépendants du système, soit nulle. Cette condition nécessaire :

$$\delta S = 0$$

n'est pas suffisante ; il faut en outre encore que la première des variations d'ordre supérieur de S, qui est différente de zéro, soit *négative*.

Désignons par x, y, ... les différents paramètres indépendants du système. Soient x_0, y_0 ..... les valeurs de ces

[1] Une partie de cet article forme le sujet d'une communication présentée à la Société de physique et d'histoire naturelle de Genève dans la séance du 15 octobre 1914.

paramètres à l'état d'équilibre thermodynamique. On peut généralement envisager S comme une fonction de ces paramètres développable en série de Taylor [1]. Soit S_0 la valeur (maximum) de l'entropie (à l'état d'équilibre thermodynamique) on obtient :

$$S - S_0 = \frac{\partial^2 S}{\partial x^2}\frac{(x-x_0)^2}{2} + \frac{\partial^2 S}{\partial y^2}\frac{(y-y_0)^2}{2} + \frac{\partial^2 S}{\partial x \partial y}(x-x_0)(y-y_0) + \ldots.$$

En supposant les différences $x - x_0$, $y - y_0$ ..... très petites mais finies on doit avoir

$$S - S_0 < 0 .$$

Une des conditions nécessaires dans ce cas est que la première des dérivées d'ordre supérieur par rapport à l'une des variables, par exemple

$$\frac{\partial^n S}{\partial x^n},$$

qui est différente de zéro, soit négative. Si les dérivées par rapport à l'un des paramètres sont toutes nulles, l'équilibre est *indifférent* par rapport aux variations de ce paramètre. Nous signalerons dans la suite un cas d'équilibre thermodynamique indifférent.

Si les dérivées successives, sans être nulles, sont très petites, le paramètre en question pourra varier dans de larges limites sans produire une diminution notable de l'entropie. Un pareil état présente donc une *faible stabilité*.

La question de la stabilité des états d'équilibre thermodynamique est intéressante à un point de vue expérimental, du moment où l'on admet que l'entropie d'un système isolé puisse prendre des valeurs observables différentes de sa valeur maximum ; car alors, pour une différence donnée de l'entropie, l'écart entre l'état réel et l'état théorique du système sera d'autant plus appréciable que l'équilibre est moins stable.

[1]) A condition que ce développement soit convergent dans le voisinage de l'état considéré.

II. Equilibre thermodynamique théorique et réel

La thermodynamique classique admet que l'état d'un système homogène est complètement déterminé par les valeurs de ses variables d'état qui peuvent être contrôlées par l'expérience. Cette supposition est légitime. Si elle ne se vérifie pas dans toutes ses conséquences on est tenté d'admettre que l'homogénéité des corps n'est qu'une apparence et qu'on a jamais dans la nature l'occasion d'étudier un système vraiment homogène. (1)

Pour obtenir une représentation plus conforme aux faits on peut supposer que les corps physiques se composent d'éléments homogènes auxquels les lois théoriques sont rigoureusement applicables mais qui ne se trouvent pas tous dans le même état (2).

Chaque élément d'un corps présente par exemple une densité, une température déterminées dans le sens précis de la théorie classique. Il en est autrement pour le corps constitué par l'ensemble de ces éléments. On ne peut parler en général que d'une *densité moyenne,* d'une *température moyenne* de ce corps. De même, en ce qui concerne tout autre paramètre caractéristique pour l'état du corps entier, on ne peut parler que de la valeur moyenne de ce paramètre.

L'état d'un corps constitué par des éléments qui se trouvent dans des états différents ne pourra être envisagé comme un état d'équilibre que si les éléments sont indépendants les uns des autres. Dans ce cas l'*énergie totale* et l'*entropie totale* du corps sont simplement la somme des énergies respectivement des

(1) Le terme « homogène » est ici employé dans une signification plus large que le sens habituel. Nous entendons par là non seulement la constance des densités dans toutes les parties du corps, mais aussi celle des températures et de tout autre paramètre caractéristique pour l'état du corps.

(2) Cette idée a été utilisée avec succès par M. A. Berthoud. Théorie cinétique des gaz et thermodynamique. *Journ. de chim. phys.* 1911, t. 9, p. 352.

entropies des éléments constituants. Pour plus de généralité il est nécessaire de supposer que les éléments sont très nombreux dans la plus petite masse du corps dont la température ou la densité pourraient être mesurées d'après les méthodes habituelles.

La thermodynamique classique démontre qu'à l'état d'équilibre l'entropie d'un système isolé doit être maximum. On ne peut échapper à cette conséquence de la théorie classique, qui impliquerait l'égalisation des entropies spécifiques de tous les éléments d'un même corps, qu'en supposant l'existence d'un effet spécial qui empêche la réalisation d'une homogénéité complète.

Nous ne formulons pour l'instant aucune hypothèse à l'égard de cet effet.

Pour se rendre compte du véritable état du corps il faudrait pouvoir contrôler à chaque instant l'état de chaque élément homogène du corps. On constaterait alors, d'après nos connaissances actuelles, non seulement que cet état est différent pour différents éléments, mais aussi que l'état d'un élément donné change d'un instant à l'autre. Pour prouver cela il n'est pas même nécessaire d'atteindre les plus petits éléments vraiment homogènes, mais il suffit de déterminer les valeurs moyennes d'un certain paramètre pour différentes parties du corps, et répéter ces mêmes mesures à différents instants. Suivant la rapidité des mesures et suivant la petitesse des portions étudiées on trouverait alors des valeurs plus ou moins écartées de la valeur moyenne.

L'état d'équilibre physique diffère donc de l'état d'équilibre théorique par le fait que l'entropie spécifique n'est pas constante dans toute la masse d'un corps apparemment homogène et que l'entropie totale n'est pas maximum. Il n'y a d'ailleurs aucune raison de supposer qu'elle reste invariable.

Soit alors S_1 l'entropie du corps à un instant donné et soit S_0 la valeur maximum de l'entropie qu'elle aurait si tous les éléments du corps se trouvaient dans le même état.

Désignons par σ l'entropie qu'a l'un des éléments du corps au moment considéré et soit σ_0 la valeur qu'aurait l'entropie de cet élément si l'état du corps était l'état d'équilibre théorique.

En représentant par le symbole Σ une somme étendue au corps entier on a :

$$S_0 = \sum \sigma_0 , \qquad S_1 = \sum \sigma .$$

Soit en outre x la valeur que présente l'un des paramètres caractéristiques pour l'état d'un élément dans les conditions réelles, et x_0 la valeur du même paramètre dans les conditions de l'équilibre théorique. On reconnaît que x_0 est en même temps la *valeur moyenne* du paramètre x, soit qu'on considère cette moyenne comme résultat d'un très grand nombre de mesures simultanées faites dans différentes parties du corps, soit qu'on envisage un grand nombre de mesures successives portant sur le même élément du corps.

Si le développement de σ en série de Taylor suivant les puissances de $x - x_0$ est convergent dans le voisinage de l'état caractérisé par la valeur x_0 du paramètre on pourra arrêter, pour l'énorme majorité des éléments du corps, ce développement aux termes du second ordre en $x - x_0$. En effet, l'état réel du corps, et par conséquent l'état réel de la majorité de ses éléments, ne diffère que très peu de l'état d'équilibre théorique caractérisé par la valeur x_0. La différence $x - x_0$ est donc très petite pour la presque totalité des systèmes élémentaires. Les quelques systèmes pour lesquels x diffère considérablement de x_0 auront une masse tellement petite que leur influence sur la valeur de l'entropie totale S_1 est négligeable. Il faut naturellement se borner à envisager des corps composés d'un *très grand nombre d'éléments*. Cette restriction faite on peut écrire :

$$S_1 = \sum \sigma = \sum \sigma_0 + \sum \left(\frac{\partial^2 \sigma}{\partial x^2}\right)_0 \frac{(x - x_0)^2}{2} ,$$

La première dérivée $\left(\frac{\partial \sigma}{\partial x}\right)_0$ est nulle pour chacun des systèmes élémentaires puisque chaque élément se trouve dans un état d'équilibre pour $x = x_0$. En remplaçant les facteurs $(x - x_0)^2$ par leur valeur moyenne :

$$\overline{(x - x_0)^2} ,$$

on trouve :

$$S_1 = S_0 + \frac{\overline{(x - x_0)^2}}{2} \sum \left(\frac{\partial^2 \sigma}{\partial x^2}\right)_0 .$$

Et puisqu'on a :

$$\sum \left(\frac{\partial^2 \sigma}{\partial x^2}\right)_0 = \left(\frac{\partial^2 S}{\partial x^2}\right)_0 ,$$

on arrive au résultat :

$$S_1 - S_0 = \left(\frac{\partial^2 S}{\partial x^2}\right)_0 \frac{\overline{(x - x_0)^2}}{2} . \qquad (1)$$

L'entropie du corps présente donc la même valeur que si le paramètre en question avait la valeur :

$$x_0 + \Delta x ,$$

où :

$$\Delta x = \pm \sqrt{\overline{(x - x_0)^2}} \qquad (2)$$

n'est rien d'autre que l'écart moyen de la valeur théorique x_0 que présente ce paramètre à l'intérieur du corps.

Si les écarts $x - x_0$ sont de nature statistique et si le nombre d'éléments envisagés est énorme on trouvera le même écart moyen quel que soit l'instant considéré. Le calcul précédent — grâce aux approximations que nous nous sommes permises — ne fournit d'ailleurs pas la valeur véritable de l'entropie qui varie d'un instant à l'autre, mais une valeur constante qu'on pourrait nommer la valeur « *observable* ».

La vérification de la théorie classique doit être attribuée au fait que la différence $S_1 - S_0$ est toujours très petite. Toutefois, si la dérivée $\left(\frac{\partial^2 S}{\partial x^2}\right)_0$ est également très petite, l'écart statistique moyen Δx dont la valeur résulte des formules (1) et (2) peut devenir très appréciable, fait que nous avons signalé plus haut.

La recherche des états qui sont manifestement en contradiction avec la théorie classique de l'équilibre thermodynamique se ramène donc à celle des états pour lesquels une des dérivées secondes de l'entropie présente une valeur particulièrement petite. Cette remarque n'aura d'ailleurs une signification générale que si la différence $S_1 - S_0$ est constante ou tout au moins de même ordre de grandeur quelles que soient la nature et les conditions particulières du corps envisagé.

III. Thermodynamique statistique

La constance de la différence $S_1 - S_0$ dans un très grand nombre de cas peut être considerée comme un fait expérimental d'une importance analogue à celle du second principe de la thermodynamique. La thermodynamique pure qui ignore cette différence ne jette aucune lumière sur cette question. La mécanique statistique par contre en fournit une explication complète basée sur l'hypothèse cinéto-moléculaire qui conduit à un théorème très général établi par L. Boltzmann.

Selon le théorème de Boltzmann la partie variable de l'entropie est proportionnelle au logarithme de la probabilité de l'état d'un système.

M. A. Einstein [1] a montré que ce théorème présente un sens, indépendamment de toute hypothèse particulière faite sur la constitution intime des systèmes envisagés, à condition de supposer « qu'un système isolé parcourt pendant un temps infini tous les états compatibles avec la valeur (constante) de son énergie ». L'irréversibilité des phénomènes naturels n'est donc qu'une apparence selon cette conception.

La probabilité statistique d'un état donné est définie par le rapport de la durée pendant laquelle le système se trouve dans cet état à la durée totale (immense) qui est à envisager.

Quelle que soit d'ailleurs l'interprétation qu'on donne au théorème de Boltzmann, on peut montrer [2] qu'en admettant l'existence d'une équation qui relie S à la probabilité W de l'état d'un système cette équation doit être de la forme suivante :

$$S = k \log W + \text{const} , \tag{3}$$

où k est une constante universelle.

Sans entrer dans les détails de cette question de mécanique statistique nous voulons admettre la formule (3) établissant une

[1] A. Einstein, *Ann. de Phys.* 1906 (4), t. 19, p. 373 et 1910 (4) t. 33, p. 1275.

[2] Cf. M. Planck. Vorles. über die Theorie der Wärmestrahlung 1906. § 134.

relation entre la probabilité statistique d'un état et la valeur de l'entropie que présente le corps dans cet état.

Soit alors x_0 la valeur d'un des paramètres du corps à l'état d'équilibre thermodynamique théorique et soit x la valeur du même paramètre dans un autre état quelconque. Les probabilités des deux états sont définies par :

$$W_0 = Ce^{\frac{S_0}{k}}, \qquad W = Ce^{\frac{S}{k}},$$

C étant une constante.

On en tire :

$$\frac{W}{W_0} = e^{\frac{S-S_0}{k}}.$$

En remplaçant $S - S_0$ par son développement en série de Taylor suivant les puissances de $x - x_0$ et en s'arrêtant au terme multiplié par $(x - x_0)^2$, on trouve :

$$W = W_0 e^{\frac{1}{k}\left(\frac{\partial^2 S}{\partial x^2}\right)_0 \frac{(x-x_0)^2}{2}}.$$

La dérivée $\left(\frac{\partial^2 S}{\partial x^2}\right)_0$ étant négative cette expression est identique à la loi des erreurs d'observation de Gauss. Les écarts $x - x_0$ sont donc repartis de la même façon que les erreurs dans la théorie des moindres carrés. Désignons par Δx^2 le carré de l'écart le plus probable (analogue à l'erreur probable) on a :

$$\Delta x^2 = -\frac{k}{\left(\frac{\partial^2 S}{\partial x^2}\right)_0}. \tag{4}$$

La grandeur de l'écart statistique moyen ne dépend donc que de la stabilité de l'état d'équilibre thermodynamique du corps, comme nous l'avons annoncé plus haut.

Contre l'application que nous avons faite de la formule (3) on pourrait soulever l'objection suivante : D'après les idées admises au début, l'état véritable du corps ne peut pas être défini par une valeur du paramètre x ; pour connaître l'état du corps il faudrait connaître les valeurs de x pour tous les éléments du corps ; mais nous ne pensons pas que W signifie la probabilité

de l'état « observable » du corps qui est toujours voisine de W_0, ni même celle de l'état véritable. W est simplement la probabilité de l'état d'un corps *fictif* dont tous les éléments présentent *au même instant* la même valeur du paramètre x et dont l'état change d'un instant à l'autre. Pour que l'*état observable* de ce corps fictif soit égal à celui du corps réel il est nécessaire et suffisant que :

$$S_1 - S_0 = -\frac{k}{2}.$$

La théorie cinétique attribue à k la signification de deux tiers de la force vive moyenne d'une molécule monoatomique à la température $T = 1$. En désignant par R la constante des gaz parfaits et par N le nombre des molécules par molécule-gramme, on a :

$$k = \frac{R}{N}. \qquad (4^a)$$

L'état thermodynamique d'un corps homogène étant caractérisé par 2 variables (par exemple température et volume spécifique) on trouve en effectuant le développement en série de Taylor suivant les accroissements de ces deux variables et en utilisant les formules (1), (2), (4) et (4^a).

$$S_0 - S_1 = \frac{R}{N}.$$

Cette différence entre l'entropie maximum (théorique) et l'entropie moyenne du corps est trop petite pour être observable sauf dans des circonstances exceptionnelles, par exemple lorsque la densité du corps envisagé est extrêmement petite.

IV. La stabilité des équilibres thermodynamiques d'un corps pur

Envisageons un corps pur composé d'un nombre n d'éléments qui se trouvent dans des états quelconques. Les variables et les fonctions thermodynamiques se rapportant à l'un de ces éléments seront, dans ce qui suit, caractérisées par l'indice « i ».

Soient alors :

$$\begin{aligned} M &= \text{masse totale des corps,} \\ V &= \text{volume total,} \\ U &= \text{énergie totale,} \\ S &= \text{entropie totale.} \end{aligned}$$

Les masses des parties constituantes soient désignées par m_i; leurs volumes, énergies, entropies spécifiques par v_i, u_i, s_i, leurs pressions par p_i et leurs températures par T_i. En supposant le corps enfermé dans un récipient indéformable et thermiquement isolant, on a les trois conditions fixes :

$$M = \sum m_i \,, \qquad V = \sum m_i v_i \,, \qquad U = \sum m_i u_i \,. \tag{5}$$

Les sommes Σ sont supposées étendues à toutes les parties du système ; M, V, U sont des constantes. On a en outre :

$$S = \sum m_i s_i \,. \tag{6}$$

La condition d'équilibre thermodynamique :

$$\delta S = \sum m_i \delta s_i + \sum s_i \delta m_i = 0 \,, \tag{7}$$

où :

$$\delta s_i = \frac{\delta u_i + p_i \delta v_i}{T_i} \tag{8}$$

renferme les variations des $3n$ paramètres m_i, u_i, v_i. La variation des trois conditions fixes (5) fournit les trois équations :

$$\begin{gathered} \sum \delta m_i = 0 \,, \qquad \sum v_i \delta m_i + \sum m_i \delta v_i = 0 \,, \\ \sum u_i \delta m_i + \sum m_i \delta u_i = 0 \,. \end{gathered} \tag{9}$$

Il n'y a donc que $3n - 3$ variations indépendantes, et l'on peut éliminer 3 des variations qui entrent dans l'équation (7) au moyen des 3 équations (9). Cette élimination faite on obtient les $3n - 3$ variations indépendantes multpliées par certains

facteurs qui doivent s'annuler chacun à part. On obtient ainsi les $3n-3$ équations suivantes :

$$\begin{aligned} T_i &= T_1 \ , \\ p_i &= p_1 \ , \\ s_i - s_1 &= \frac{u_i - u_1 + p_i(v_i - v_1)}{T_1} \ . \end{aligned} \tag{10}$$

Les deux premiers groupes des équations (10) expriment qu'à l'état d'équilibre thermodynamique toutes les parties du système doivent avoir la même température et la même pression.

Cette conséquence de la théorie adoptée, le système ne pourra se décomposer dans aucun cas en plus de trois parties qui se trouvent dans des états différents (règle des phases). L'état d'équilibre est alors défini par 6 équations dont les deux dernières renferment toute la théorie des changements d'état [1].

Il y en a cependant parmi les états définis par les équations (10) qui ne sont pas de véritables états d'équilibre ; la condition (7) comprend en effet également des états pour lesquels certaines dérivées secondes de l'entropie sont positives ou nulles.

Si l'on veut calculer la seconde variation de S pour tous les états qui satisfont aux équations (10) il est utile d'observer qu'il n'y a que $3n-3$ variables indépendantes qui interviennent dans l'expression de δS. Toutes les autres variables sont fonctions de ces variables indépendantes qu'on peut d'ailleurs choisir à volonté.

Pour simplifier les opérations ultérieures nous choisissons comme variables indépendantes les volumes spécifiques v_i et les températures T_i. La variation de l'équation (7) fournit alors :

$$\delta^2 S = \sum m_i \delta^2 s_i + 2 \sum \delta m_i \delta s_i + \sum s_i \delta^2 m_i \ . \tag{11}$$

En variant de même les équations (9) on en déduit, eu égard aux formules (8).

$$2 \sum \delta m_i \delta s_i + \sum m_i \frac{\delta^2 u_i}{T_i} + \sum \frac{u_i + p_i v_i}{T_i} \delta^2 m_i = 0 \ .$$

[1]) Cf. M. Planck, Vorles. über Thermodynamik. 3e édit. 1911, p. 140.

Cette formule permet de transformer l'équation (11) en :

$$\delta^2 S = \sum m_i \left(\delta^2 s_i - \frac{\delta^2 u_i}{T_i}\right) + \sum \left(s_i - \frac{u_i + p_i v_i}{T_i}\right) \delta^2 m_i \ .$$

Si on tient en outre compte de la condition

$$\sum \delta^2 m_i = 0$$

et des équations d'équilibre (10) on trouve pour tout état satisfaisant à ces conditions la relation générale [1] :

$$\delta^2 S = \sum m_i \left(\delta^2 s_i - \frac{\delta^2 u_i}{T_i}\right) \ . \tag{12}$$

Pour pouvoir discuter l'équation (12) il est nécessaire de mettre celle-ci sous une forme différente faisant intervenir les coefficients thermodynamiques des éléments envisagés.

L'état d'un corps homogène étant caractérisé par les variables T_i (température) et v_i (volume spécifique) on a :

$$\delta^2 s_i = \left(\frac{\partial^2 s_i}{\partial T_i^2}\right)_{v_i} \delta T_i^2 + 2 \frac{\partial^2 s_i}{\partial T_i \partial v_i} \delta T_i \delta v_i + \left(\frac{\partial^2 s_i}{\partial v_i^2}\right)_{T_i} \delta v_i^2 \ .$$

Il résulte d'autre part de la définition de l'entropie spécifique s_i que :

$$\left(\frac{\partial s_i}{\partial T_i}\right)_{v_i} = \frac{1}{T_i} \left(\frac{\partial u_i}{\partial T_i}\right)_{v_i} , \qquad \left(\frac{\partial s_i}{\partial v_i}\right)_{T_i} = \frac{1}{T_i} \left(\frac{\partial u_i}{\partial v_i}\right)_{T_i} + \frac{p_i}{T_i} \ .$$

En calculant de même les dérivées secondes on trouve facilement :

$$\delta^2 s_i = \frac{\delta^2 u_i}{T_i} - \frac{1}{T_i^2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial T_i}\right)_{v_i} \delta T_i^2 + \frac{1}{T_i} \left(\frac{\partial p_i}{\partial v_i}\right)_{T_i} \delta v_i^2 \ . \tag{13}$$

En tenant compte du fait que :

$$\left(\frac{\partial u_i}{\partial T_i}\right)_{v_i} = c_i \ ,$$

[1]) Observons que la forme de l'expression de $\delta^2 S$ dépend des variables indépendantes choisies. Si on prend pour variables indépendantes les m_i à la place des T_i on trouve l'expression particulièrement simple :

$$\delta^2 S = \sum m_i \delta^2 s_i \ .$$

où c_i est la chaleur spécifique à volume constant de l'élément considéré, on trouve finalement [1] :

$$\delta^2 S = -\sum \frac{m_i}{T_i}\left[\frac{c_i}{T_i}\,\delta T_i^2 - \left(\frac{\partial p_i}{\partial v_i}\right)_{T_i}\delta v_i^2\right] . \tag{14}$$

En utilisant l'équation (14) pour la discussion des différents états qui satisfont aux conditions (10) on remarque immédiatement que la condition :

$$\delta^2 S < 0$$

n'est assurée pour toute variation virtuelle possible que si :

$$\left(\frac{\partial p_i}{\partial v_i}\right)_{T_i} < 0$$

pour tous les éléments en présence.

Cette remarque met en évidence le fait que certains états qui résultent de l'isotherme théorique d'un fluide d'après les théories de Van der Waals ou de Clausius ne sont pas de véritables états d'équilibre. Le long de l'arc ascendant de l'isotherme compris entre le minimum et le maximum de la pression p on a :

$$\left(\frac{\partial p}{\partial v}\right)_T > 0 .$$

L'entropie est donc minimum le long de cet arc en ce qui concerne les variations du volume spécifique.

Dans le voisinage du point critique d'un fluide se trouvent des états d'équilibre théorique de faible stabilité. On a en effet :

$$\left(\frac{\partial^3 S}{\partial v^2}\right)_T = \frac{M}{T}\left(\frac{\partial p}{\partial v}\right)_T \tag{15}$$

et la dérivée $\left(\frac{\partial p}{\partial v}\right)_T$ est nulle au point critique du fluide.

Les états voisins de l'état critique présentent donc des écarts statistiques du volume spécifique particulièrement considérables.

[1]) Cf. M. Planck, *loc. cit.* p. 142.

La valeur moyenne de ces écarts résulte des formules (4) et (15) qui fournissent :

$$\Delta v^2 = -\frac{RT}{NM\left(\frac{\partial p}{\partial v}\right)_T}. \tag{16}$$

On obtient ainsi l'explication de l'*opalescence critique* qui a été donnée pour la première fois par M. v. Smoluchowski [1].

La théorie de M. v. Smoluchowski a été vérifiée expérimentalement par M. Keesom [2] puis perfectionnée par M. A. Einstein dans l'un des travaux remarquables qui ont été cités plus haut.[3]

On trouve dans l'importante publication de M. v. Smoluchowski un dessin en perspective [4] représentant la répartition des probabilités des états d'un fluide le long d'une isotherme théorique. Ce même dessin permet de se faire une idée sur la répartition des valeurs de l'entropie et résume bien clairement les résultats de la discussion précédente.

La formule (16) s'applique d'une façon générale à un état d'équilibre quelconque d'un corps pur ; les écarts statistiques ne seront d'ailleurs observables que si $\left(\frac{\partial p}{\partial v}\right)_T$ est petit. Cela a lieu par exemple si le corps est un gaz faiblement comprimé. L'application de la loi des gaz parfaits :

$$pv = \frac{R}{\mu} T$$

(μ = poids moléculaire) fournit dans ce cas :

$$\Delta v^2 = \frac{\mu v^2}{NM}.$$

Puisque $\frac{M}{\mu}$ n'est rien d'autre que le nombre des molécules-grammes qui forment la masse envisagée on peut écrire

$$\Delta v^2 = \frac{v^2}{\nu}, \tag{17}$$

[1]) M. v. Smoluchowski, *Ann. d. Phys.* 1908 (4) t. 25, p. 205.
[2]) Keesom, Comm. Lab. of Leiden 1908, p. 1046.
[3]) A. Einstein, *Ann. de Phys.* 1910 (4) t. 33, p. 1275.
[4]) M. v. Smoluchowski, *loc. cit.* p. 212.

ν étant le nombre des molécules présentes dans le volume total du gaz. Les fluctuations statistiques de la densité de l'air expliquent la lumière d'opalescence bleue qui nous est renvoyée par le ciel, comme l'a montré Lord Rayleigh [1] en se basant sur la théorie cinétique des gaz.

Il est à remarquer que la formule (14) fait également prévoir des écarts statistiques de la température dont le carré moyen est indiqué par :

$$\Delta T^2 = \frac{RT^2}{NMc_v}, \tag{18}$$

c_v désignant la chaleur spécifique du corps à volume constant.

Si le volume spécifique est grand et la température élevée, l'état thermodynamique de tout corps est celui d'un gaz parfait. L'entropie de la masse M d'un gaz parfait est :

$$S = M\left(c_v \log T + \frac{R}{\mu} \log v + \text{const}\right).$$

Les dérivées d'ordre supérieur :

$$\frac{\partial^2 S}{\partial T^2} = -\frac{Mc_v}{T^2}, \qquad \frac{\partial^2 S}{\partial v^2} = -\frac{MR}{\mu v^2} \cdots$$

décroissent alors très rapidement si T et v sont grands. Il suit de là que l'état d'équilibre d'un gaz très chaud ou très raréfié se rapproche d'un *état d'équilibre indifférent* et doit permettre l'observation de fluctuations statistiques considérables.

Cela résulte d'ailleurs directement de la théorie cinétique des gaz.

V. L'ÉTAT CRITIQUE D'UN FLUIDE

L'état critique présentant un intérêt spécial pour la chimie physique, nous croyons utile de compléter par quelques remarques les considérations qui précèdent.

[1] Rayleigh, *Phil. Mag.* 1899, 47, p. 375 et Papers 4, p. 400.

L'état critique n'est pas le seul état théorique d'un fluide pour lequel :

$$\left(\frac{\partial p}{\partial v}\right)_T = 0 , \qquad \left(\frac{\partial^2 S}{\partial v^2}\right)_T = 0 .$$

La même circonstance se présente pour les maxima et les minima des isothermes théoriques. Il y a cependant une grande différence entre l'état critique et ces autres états en ce qui concerne la signification de cette constatation.

La singularité des extrêma des isothermes n'est pas très intéressante parceque les états qui se trouvent dans le voisinage de ces points ne sont pas l'unique solution du problème de l'équilibre thermodynamique. Il existe dans chaque cas une deuxième solution définissant un état plus stable qui, en vertu du second principe, se trouvera seul réalisé dans la nature. Pour les extrêma mêmes la seconde dérivée de l'entropie est nulle et la troisième est négative ; ce ne sont donc pas de véritables états d'équilibre.

Il en est tout autrement pour le point critique. L'état critique est l'unique solution du problème ; les états voisins du point critique sont observables et permettent effectivement l'étude des écarts signalés plus haut [1].

Au point critique même la dérivée $\frac{\partial^2 S}{\partial v^2}$ s'annule. Il faut donc calculer les termes suivants du développement en série de Taylor. En utilisant la méthode de calcul indiquée plus haut on obtient :

$$\delta^3 S = 3 \sum \delta m_i \left(\delta^2 s_i - \frac{\delta^2 u_i}{T_i}\right) + \sum m_i \left(\delta^3 s_i - \frac{\delta^3 u_i}{T_i}\right) ,$$

$$\delta^4 S = 6 \sum \delta^2 m_i \left(\delta^2 s_i - \frac{\delta^2 u_i}{T_i}\right) + 4 \sum \delta m_i \left(\delta^3 s_i - \frac{\delta^3 u_i}{T_i}\right)$$
$$+ \sum m_i \left(\delta^4 s_i - \frac{\delta^4 u_i}{T_i}\right) .$$

Introduisant dans ces formules les variations des paramètres indépendants v_i et T_i on trouve :

$$\frac{\partial^3 S}{\partial v_i^3} = \frac{1}{T_i}\left[3 \frac{\partial m_i}{\partial v_i}\left(\frac{\partial p_i}{\partial v_i}\right)_{T_i} + m_i \left(\frac{\partial^2 p_i}{\partial v_i^2}\right)_{T_i}\right] ,$$

$$\frac{\partial^4 S}{\partial v_i^4} = \frac{1}{T_i}\left[6 \frac{\partial^2 m_i}{\partial v_i^2}\left(\frac{\partial p_i}{\partial v_i}\right)_{T_i} + 4 \frac{\partial m_i}{\partial v_i}\left(\frac{\partial^2 p_i}{\partial v_i^2}\right)_{T_i} + m_i \left(\frac{\partial^3 p_i}{\partial v_i^3}\right)_{T_i}\right] .$$

[1]) Keesom, *loc. cit.*

Si l'on se borne au cas d'un corps homogène, le seul cas à considérer, si la température est supérieure ou égale à la température critique, les dérivées de m_i sont nulles et on a :

$$\frac{\partial^3 S}{\partial v^3} = \frac{M}{T}\left(\frac{\partial^2 p}{\partial v^2}\right)_T , \qquad \frac{\partial^4 S}{\partial v^4} = \frac{M}{T}\left(\frac{\partial^3 p}{\partial v^3}\right)_T . \tag{19}$$

Au point critique même la troisième dérivée de l'entropie est nulle ; quant à la quatrième les équations théoriques des isothermes fournissent :

$$\left(\frac{\partial^3 p}{\partial v^3}\right)_T < 0 .$$

L'état critique est donc un état stable.

Pour calculer les fluctuations statistiques de l'état critique, M. v. Smoluchowski [1] continue le développement de la différence $S - S_0$ jusqu'aux termes du quatrième ordre. On trouve alors, en faisant usage de la formule (3) :

$$W = W_0 e^{\frac{1}{k}\left(\frac{\partial^4 S}{\partial x^4}\right)_0 \frac{(x-x_0)^4}{4!}} . \tag{20}$$

La loi des écarts $x - x_0$ n'est donc plus identique à celle des erreurs d'observation.

On trouve dans ce cas l'écart moyen Δx en faisant usage de l'intégrale Eulerienne de seconde espèce [2].

$$\Gamma(p) = 2\int_0^\infty e^{-y^2} y^{2p-1}\, dy .$$

En y substituant :

$$y = z^2 ,$$

il vient :

$$\Gamma(p) = 4\int_0^\infty e^{-z^4} z^{4p-1}\, dz .$$

Posons encore :

$$z = ht .$$

[1]) M. v. Smoluchowski, *loc. cit.* p. 215.
[2]) Cf. Sturm, Analyse. Edit. 1895, t. 2, p. 33.

On obtient alors en utilisant l'intégrale précédente avec $p = {}^1/_2$ et $p = {}^1/_4$

$$h\bar{t} = \frac{4h^2 \int_0^\infty e^{-h^4 t^4} t \, dt}{4h \int_0^\infty e^{-h^4 t^4} dt} = \frac{\Gamma({}^1/_2)}{\Gamma({}^1/_4)} , \tag{21}$$

$\bar{t}$ représente ici la valeur moyenne de la variable t.

En appliquant la formule (21) et l'équation (20) on trouve :

$$- h^4 = \frac{1}{4!k} \left(\frac{\partial^4 S}{\partial x^4}\right)_0 ,$$

$$\Delta x = \frac{1}{h} \frac{\Gamma({}^1/_2)}{\Gamma({}^1/_4)} .$$

En utilisant la seconde des équations (19) qui fournit $\frac{\partial^4 S}{\partial v^4}$ on obtient pour l'état critique :

$$\left.\begin{aligned} h^4 &= - \frac{MN}{4!\,RT_c} \left(\frac{\partial^3 p}{\partial v^3}\right)_c , \\ \Delta v &= \frac{\Gamma({}^1/_2)}{\Gamma({}^1/_4) h} . \end{aligned}\right\} \tag{22}$$

Les symboles affectés de l'indice « c » se rapportent spécialement à l'état critique.

VI. Remarques sur la théorie statistique du magnétisme

Les considérations générales qui précèdent trouvent entre autres une application à la théorie du magnétisme. Une théorie statistique très parfaite du paramagnétisme a été développée par M. P. Langevin [1] puis étendue aux phénomènes ferromagnétiques par M. P. Weiss [2]. Nous nous bornerons ici à une remarque qui se rattache au sujet de cet article.

[1]) P. Langevin, *Ann. Chim. Phys.* (8) t. 5, p. 70, 1905.

[2]) P. Weiss, *Archives* (4) t. XXXI, p. 401, 1911. Soc. franç. Confér. faites en 1912, p. 332.

L'étude du magnétisme permettrait-elle dans des conditions favorables l'observation des fluctuations statistiques de l'intensité d'aimantation d'un corps ? S'il en était ainsi on aurait là une nouvelle méthode de détermination du nombre N.

Soit U l'énergie de l'unité de volume d'un corps ferro- ou paramagnétique qui dans un champ d'intensité H a pris une intensité d'aimantation J. Désignons par T la température, et par S l'entropie de l'unité de volume du corps. Le second principe de la thermodynamique fournit la relation :

$$dU = HdJ + TdS + \ldots \tag{23}$$

Cette équation différentielle permet de calculer la seconde dérivée de l'entropie prise par rapport au paramètre J :

$$\frac{\partial^2 S}{\partial J^2} = -\frac{1}{T}\left(\frac{\partial H}{\partial J}\right)_T . \tag{24}$$

Ceci posé on déduit des équations (4) et (4ᵃ) le carré moyen des écarts statistiques de l'intensité d'aimantation J :

$$\Delta J^2 = -\frac{R}{N\dfrac{\partial^2 S}{\partial J^2}} = -\frac{RT}{N\left(\dfrac{\partial H}{\partial J}\right)_T} . \tag{25}$$

On pourrait penser que l'aimantation d'un corps ferromagnétique, soumis à l'action du champ pour laquelle la susceptibilité $\left(\frac{\partial J}{\partial H}\right)_T$ est maximum, rendrait possible l'étude des écarts ΔJ. Le champ magnétique dans le voisinage des surfaces polaires d'un électroaimant doit présenter des fluctuations statistiques qu'on pourrait mettre en évidence par l'observation d'un effet proportionnel au carré de l'intensité du champ ; mais un calcul sommaire ne laisse aucune illusion sur ce point. Les écarts ΔJ qu'on pourrait espérer d'obtenir dans les conditions les plus favorables sont de l'ordre de 10^{-5} gauss, donc beaucoup trop petits pour être observables.

On peut par contre tirer de la formule (25) une autre conséquence :

Si l'on considère les molécules d'un corps para- ou ferro-

magnétique comme des aimants de moment magnétique $\mathfrak{m}$, les fluctuations en question ont leur origine dans l'orientation irrégulière des aimants moléculaires.

Le moment magnétique d'un aimant élémentaire se décompose en 3 composantes $\mathfrak{m}_x$, $\mathfrak{m}_y$, $\mathfrak{m}_z$, suivant trois axes rectangulaires et on a :

$$\mathfrak{m}^2 = \mathfrak{m}_x^2 + \mathfrak{m}_y^2 + \mathfrak{m}_z^2 .$$

Supposons que la direction du champ H coïncide avec l'axe des x et soit n le nombre de molécules (aimants) contenues dans l'unité de volume, on aura :

$$\Delta J^2 = \sum \mathfrak{m}_x^2 = \frac{n\mathfrak{m}^2}{3} .$$

Si le corps était aimanté à saturation, c'est à dire si tous les aimants moléculaires étaient parallèles à la direction du champ, l'intensité d'aimantation serait :

$$n\mathfrak{m} = J_{\max} .$$

D'où l'on déduit :

$$\Delta J^2 = \frac{1}{3} \frac{J^2_{\max}}{n} .$$

On a donc :

$$\frac{1}{3} J^2_{\max} = \frac{n}{N} \frac{RT}{\left(\frac{\partial H}{\partial J}\right)_T} .$$

Si le corps est paramagnétique, le rapport

$$\left(\frac{\partial J}{\partial H}\right)_T = \chi$$

est une quantité constante. On obtient alors :

$$\chi = \frac{J^2_{\max}}{3 \frac{n}{N} RT} . \qquad (26)$$

Cette formule exprime la loi de Curie suivant laquelle la susceptibilité paramagnétique d'un corps décroît en raison inverse de la température absolue.

Résumé

Dans ce qui précède nous avons développé des considérations de thermodynamique statistique en utilisant l'hypothèse particulière suivante :

L'état des plus petits éléments d'un corps est défini par les mêmes variables que l'état du corps entier ; mais tandis qu'en ce qui concerne le corps entier les lois de la thermodynamique, se rapportant aux valeurs moyennes de ces variables, ne sont que des lois d'approximation, elles sont rigoureusement exactes pour les plus petits éléments vraiment homogènes du corps.

Ces hypothèses nous ont permis d'obtenir les principaux résultats de la théorie statistique, tout en supprimant ou en diminuant, nous semble-t-il, certaines difficultés d'ordre théorique ou mathématique qu'on rencontre dans l'établissement et dans les applications de la théorie statistique.

En même temps nous avons insisté sur l'importance que présente la notion de la stabilité des équilibres thermodynamiques au point de vue du choix des méthodes pour la détermination du nombre d'Avogadro par l'observation des fluctuations statistiques.

SUR LES

OBSERVATIONS SISMOMÉTRIQUES

FAITES EN SUISSE

PAR

A. de QUERVAIN

(Avec la pl. I)

Il y a quelques semaines, les journaux de notre pays répandirent une nouvelle d'ordre scientifique qui, malgré les préoccupations de la guerre, parut frapper le grand public.

L'observatoire sismologique de Zurich annonça qu'il venait de se produire un tremblement de terre ayant le caractère d'une catastrophe. En même temps, il croyait pouvoir désigner l'*Asie Mineure* comme lieu de ce désastre. Cette prévision fut confirmée 24 heures plus tard par le télégraphe, qui nous informa qu'un séisme très violent avait enseveli plus de 2000 victimes sous les débris de Burdur et d'Isparta, villes qui sont bien situées en Asie Mineure, dans le vilayet de Konia.

La catastrophe bien plus grande d'Avezzano, survenue le 13 janvier, au moment de la mise sous presse de cet article, vient de donner à notre sujet une actualité douloureuse. Les diagrammes de Zurich, terriblement agités, mais plus vagues cette fois, permettent quand même de déduire que le foyer a dû se trouver au sud-sud-est, à une distance de 590 km. ou de 850 km., en tous cas en Italie moyenne, comme cela a été le cas. La vraie distance se trouve être égale à la moyenne des distances précitées.

Comment est-il possible aux sismologues de risquer des indications aussi précises, sur la seule base des diagrammes des appareils d'une seule station ?

Pour répondre à cette question qu'on nous pose souvent, il faut d'abord se rendre compte du caractère général d'un *sismogramme,* c'est-à-dire de la trace laissée par la plume d'un sismographe. Nous n'avons pas besoin de nous arrêter à la construction de ce dernier ; pour le moment, il suffit de dire que chaque appareil n'inscrit que les mouvements du sol qui se produisent dans une certaine direction ; il y aura donc un appareil spécial pour enregistrer, par exemple, la composante est-ouest, un autre pour la composante nord-sud et peut-être un troisième pour marquer le mouvement vertical.

Quand le sol est tranquille, la plume des appareils à enregistrement mécanique trace une ligne droite sur une feuille de papier noirci qui se déroule à raison de 15 à 30 mm par minute. Quand arrivent les ébranlements d'un séisme, cette ligne se transforme en une suite d'ondulations plus ou moins accentuées, qui figurent, en une certaine mesure, les mouvements successifs du sol, mais à une échelle agrandie, par exemple de 100 fois, variant avec leur période et celle du sismographe.

Quand le foyer sismique est voisin de l'observatoire, peut-être à quelques cents kilomètres, le sismogramme est court, de deux à trois minutes, et les périodes sont courtes aussi, allant de 0,4 à 2 secondes. Dans un sismogramme d'un tremblement de terre éloigné de plusieurs milliers de kilomètres, les ondes sismiques s'inscrivent quelquefois pendant une demi-heure, et même pendant plusieurs heures ; alors les périodes sont beaucoup plus longues, variant le plus souvent entre 4 et 20 secondes.

En examinant un sismogramme quelconque, — on en obtient d'utilisables depuis une dizaine d'années, — nous sommes frappés de voir que ses différentes parties ne se ressemblent pas, mais qu'il y a certaines sections où semblent commencer de nouveaux systèmes d'ondes. Comparer, par exemple, les sismogrammes reproduits plus loin (pl. I), provenant le premier précisément du tremblement de terre de l'Asie-Mineure, le 3 octobre 1914, et l'autre de la composante verticale du

tremblement de terre de Turin du 26 octobre. Tous deux montrent très bien les phases dont il est question.

Avant même qu'on ait pu s'expliquer la nature de ces différences, on en a tiré profit pour évaluer la distance approchée du foyer. Car on eut bientôt reconnu que, plus le commencement du diagramme, appelé « premier précurseur » (P), précédait la section suivante, désignée comme « second précurseur » (S) plus le foyer était éloigné. Plus tard, on sut mettre en relation ces constatations sismologiques avec la théorie de l'élasticité des solides. Le physicien Poisson a déjà montré qu'à part les ondes élastiques longitudinales, qui sont identiques aux ondes sonores, il devait se former, dans les corps solides seulement, des ondes *transversales,* vibrant d'une façon analogue à celle des ondes lumineuses, d'après la conception de l'ancienne théorie de l'éther. La vitesse des ondes transversales devait être plus petite que celle des ondes longitudinales, presque de la moitié.

Or, c'est là précisément la relation de vitesse qu'on a trouvée pour les premiers et les seconds précurseurs, qui font 7,2 km et 4,0 km par seconde, dans les couches voisines de la surface. On ne peut donc plus douter d'avoir affaire ici aux ondes longitudinales et transversales. En constatant leur rapport de vitesse dans différentes profondeurs du globe terrestre (ces vitesses doublent presque dans les couches les plus profondes qu'on ait pu étudier et qui se trouvent à 3000 km au-dessous de la surface) on a même pu prouver ainsi que le fameux coefficient de Poisson ne varie que très peu (entre 0,26 et 0,28) pour toutes ces profondeurs. On sait que ce coefficient indique la relation entre la contraction latérale et l'allongement longitudinal d'un corps étiré dans les limites de l'élasticité. D'après la théorie de Poisson, ce coefficient devait être égal à 0,25. On voit donc le sismographe s'associer au spectroscope des astronomes et à la balance de torsion des géodésiens pour nous révéler l'état physique de régions qu'on aurait cru inaccessibles à jamais aux recherches humaines.

Mais ce qui nous intéresse avant tout ici, c'est la possibilité d'établir des tables qui nous indiquent, avec une exactitude de 2 à 3 %, la distance du foyer sismique, dès que nous connais-

sons la différence de temps entre l'arrivée des ondes longitudinales et transversales.

Dans la pratique, ces moments ne sont cependant pas toujours faciles à déterminer. Pour les séismes très lointains, les ondes longitudinales sortent du sol sous un angle de 60° à 70°, et, vu leur faiblesse générale, ne sont donc pas très visibles sur les composantes horizontales.

Dans ces conditions, ce sont plutôt les ondes transversales qui y seront mieux marquées. Mais leur arrivée sera quelquefois confondue avec celle d'ondes longitudinales réfléchies une ou deux ou même plusieurs fois, et dont on peut souvent constater l'existence. La réflexion d'ondes sismiques à la surface de la terre doit nécessairement avoir lieu, et c'est à elle qu'on doit en grande partie la continuité des sismogrammes au lieu d'y trouver des groupes d'ondes séparées par des intervalles sans oscillations. La réflexion se fait dans des conditions assez compliquées, les ondes longitudinales s'y transformant partiellement en ondes transversales, et l'inverse.

Dans la plupart des sismogrammes on voit passer la phase des ondes transversales sans séparation nette à celle des *longues ondes* qui ne prennent pas le chemin direct par l'intérieur de la terre comme les précédentes, mais qui se forment à la surface terrestre. Elles représentent une combinaison singulière de composantes longitudinales et transversales, étudiée théoriquement par les physiciens Rayleigh et Lamb. Le moment de leur apparition pourrait théoriquement servir à une détermination de distance. Pratiquement on se borne à la détermination par la différence S—P, qui est bien mieux marquée.

Nous pouvons mentionner en passant que les sismogrammes des grands tremblements de terre mondiaux se terminent souvent en oscillations longues et régulières qui continuent pendant des heures. La sismologie moderne y voit le balancement de l'écorce terrestre entière sur le magma plus plastique du noyau, retour frappant à l'hypothèse du vieux philosophe Thalès, commentée jadis avec des sourires.

Si l'on connaît les distances trouvées par *deux* observatoires, on peut en déduire immédiatement la position du séisme, ou, pour mieux dire les *deux* positions qui restent encore possibles.

L'indication d'un troisième observatoire éliminera l'ambiguïté.

Mais, si l'on ne dispose que des observations d'un seul observatoire, il faut savoir, en plus, de quelle direction nous arrivent ces ondes sismiques. Pour les ondes longitudinales, cela semble chose facile; on n'aurait qu'à construire la résultante des mouvements indiqués par les deux composantes. Mais ce procédé n'est exact que pour le premier moment du diagramme, celui où la masse lourde du pendule sismographique peut encore être considérée comme étant en repos. Plus loin, la relation du mouvement du pendule avec celui de la terre devient trop compliquée. C'est donc surtout la toute première partie du sismogramme qui décide du point de départ du mouvement. Et encore faut-il, pour déduire l'azimut exact, tenir compte de l'agrandissement de l'instrument, de sa période, de son degré d'amortissement et de la période du mouvement sismique. Souvent, ce premier mouvement n'est pas assez marqué, et alors la détermination certaine de la direction n'est pas possible.

De même, elle reste incertaine de 180 degrés quand on ne connaît que les composantes horizontales, sans disposer d'un appareil pour le mouvement vertical. Car ce premier mouvement peut tout aussi bien être dirigé *vers* le foyer sismique que s'en éloigner. C'est alors la composante verticale qui décide. Admettons que nous ayons constaté pour la première secousse une résultante dans la direction du nord-est vers le sud-ouest. Si en même temps nous avons constaté un mouvement de bas en haut, le foyer sismique se trouve au nord-est. Si, par contre, le premier mouvement est dirigé de haut en bas nous avons le cas d'une onde aspirante, et le foyer se trouve au sud-ouest. Quand les périodes des premières ondes sont aussi courtes, comme c'est le cas pour les tremblements rapprochés, il suffit d'une incertitude de deux dixièmes de seconde, dans la coïncidence des différents diagrammes pour nous tromper de 180 degrés sur la vraie direction. Et jusque là, ces quelques dixièmes de secondes représentent bien la limite de précision des mouvements enregistreurs.

Nous venons de nous rendre compte des principes de la

détermination d'un foyer sismique par les indications d'une seule station, et nous avons aussi fait entrevoir quelques-unes des difficultés auxquelles elle se heurte.

Même dans des remarques aussi sommaires, il convient de rendre hommage aux efforts des constructeurs et des savants, qui, depuis une dizaine d'années surtout, ont conduit à un progrès très frappant de la sismométrie. Je ne cite que les noms de Wiechert et de Galitzine, auquels la théorie et la pratique des instruments et non moins l'analyse des sismogrammes doit des progrès particulièrement importants.

La Suisse, dont la commission sismologique avait pris, il y a 34 ans, l'initiative en Europe de la rédaction de rapports réguliers sur les phénomènes macrosismiques (les premiers signés par MM. Forel, Heim et Forster), a gardé une prudente réserve pendant le développement de la sismométrie moderne. Mais dès qu'on connut des appareils d'une action claire et certaine, la commission sismologique de la *Société helvétique des sciences naturelles,* alors sous la présidence de M. Früh, n'hésita plus à se mettre de nouveau dans le mouvement, en créant l'observatoire sismologique de Zurich, en 1911. Puis, ne disposant ni du personnel, ni des ressources nécessaires pour garantir la continuation de ces observations, elle céda au bureau météorologique fédéral l'observatoire et tout le service sismologique, qui de fait avait déjà été à la charge des collaborateurs volontaires de cet institut depuis huit ans.

Le service sismologique suisse, ayant l'avantage de posséder des foyers sismiques autochtones, a toujours eu pour principe de s'occuper surtout de ces tremblements de terre suisses. C'est ce point de vue qui a aussi dû guider l'installation de notre observatoire.

Car, il est impossible d'ajuster un sismographe à enregistrement mécanique de façon à inscrire avec une même sensibilité les tremblements lointains (c'est-à-dire à longues périodes) et les tremblements rapprochés (c'est-à-dire à courtes périodes). Il faut se décider pour l'un ou l'autre. Nos appareils sont donc arrangés pour marquer le mieux possible les *courtes* périodes, et pour avoir une grande sensibilité, correspondant à la grande faiblesse de presque tous nos tremblements de terre. Il va sans

dire que cela entraîne nécessairement l'impossibilité d'enregistrer sur le même appareil la phase maximum d'une secousse exceptionnellement forte.

L'enregistrement des deux composantes horizontales se fait par l'appareil construit par la maison Bosch, sur les indications du docteur Mainka, l'excellent collaborateur du bureau sismologique international de Strasbourg; c'est en principe l'ancien

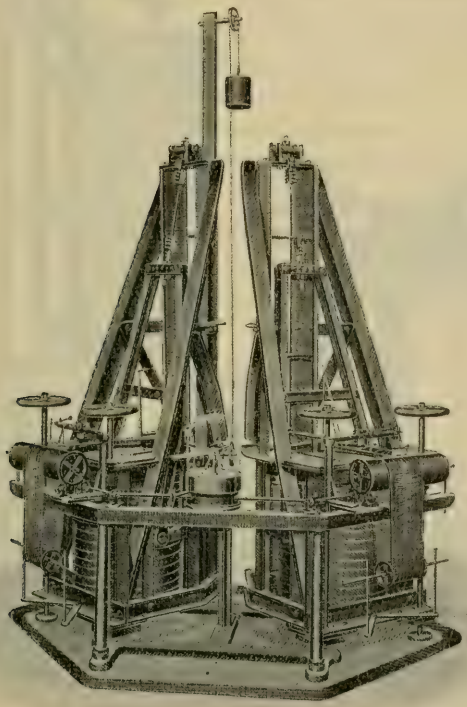


Fig. 1. — *Sismographe Bosch-Mainka, à deux composantes horizontales, installé à Zurich.* On remarque les deux masses lourdes; quatre roues horizontales qui commandent le réglage horizontal; quatre cylindres portant les deux feuilles d'enregistrement; un mouvement d'horlogerie au milieu, actionnant ces cylindres.

pendule horizontal d'Omori, mais très considérablement amélioré (fig. 1). La masse d'un des pendules est de 450 kilogrammes. La suspension et l'oscillation sont analogues à celles d'une porte, dont les gonds seraient un peu inclinés. La période

propre est de 5 secondes et l'agrandissement pour les oscillations rapides peut être poussé jusqu'à 200. Une différence de mouvement de 0,00025 mm est la limite de ce qui est encore appréciable. Un instrument de ce type, mais de plus petites dimensions, est installé à l'observatoire de Neuchâtel.

L'appareil qui enregistre la composante verticale est cons-

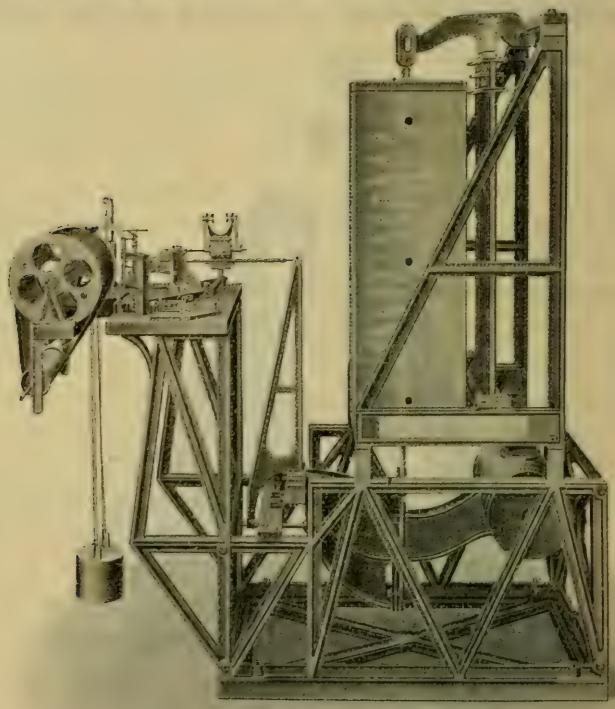


Fig. 2. — *Sismographe vertical Spindler et Hoyer-Wiechert, installé à Zurich.* A droite en bas, la masse lourde, qui tend le grand ressort du haut, enfermé dans une cage. A droite de la cage se trouve le système compensateur (à grille). A gauche le système des leviers agrandissants, l'amortisseur et la feuille d'enregistrement.

truit par la maison Spindler et Hoyer, sur les plans du professeur Wiechert (fig. 2). En somme, il s'agit d'une masse de 80 kg. suspendue à un ressort cylindrique, et rendue par là indépendante des accélérations du sol. Le changement du coeffi-

cient de l'élasticité du ressort avec la température exige des précautions particulières; l'appareil doit posséder un système compensateur, et en plus il doit être enfermé dans plusieurs enveloppes protectrices. Et encore observe-t-on des changements du zéro très gênants toutes les fois que la présence de plusieurs visiteurs fait changer la température ambiante. C'est pour cette raison aussi que le pavillon qui abrite ces appareils possède des parois doubles, séparées par une couche de tourbe. Une autre difficulté de ces appareils est celle d'établir une période d'oscillation suffisamment longue. Pour éviter d'employer des ressorts de dimensions démesurées, on est obligé d'inventer des systèmes astatiseurs spéciaux.

Pour toutes les composantes, la connaissance de l'heure exacte joue un rôle important. Elle est assurée par une pendule qui, toutes les minutes, interrompt la ligne tracée sur le noir de fumée; la pendule, à son tour, est comparée tous les jours avec celle de l'observatoire astronomique de Zurich, de sorte que le moment absolu des interruptions est connu au dixième de seconde près. Pour des besoins immédiats, nous sommes installés pour faire en outre la comparaison avec les signaux horaires de la Tour Eiffel.

La tâche de notre observatoire d'approfondir l'étude des tremblements de terre suisses peut être remplie de différentes manières. Quelquefois il intervient, quand les secousses auraient échappé à l'attention des observateurs, ou quand leur réalité serait douteuse sans la confirmation des instruments. Cela a été le cas, par exemple, pour le premier tremblement de terre, très curieux, causé par le percement du tunnel de Grenchen. Quelquefois, par contre, pour les secousses, plus éloignées de nous et très faibles, les indications presque microscopiques nous échapperaient sans les avertissements venant du public C'est l'occasion de dire que l'établissement de sismographes ne nous permettra jamais de nous passer d'observations faites par le public; même, elles deviennent d'autant plus intéressantes. Et ce qui importe avant tout, c'est de nous donner l'heure exacte (c'est-à-dire à une ou quelques secondes près) de la secousse ressentie. Cette exactitude n'est pas difficile à réaliser pour qui s'astreint à consulter immédiatement, en pareil cas, l'aiguille

des secondes de sa montre qu'il comparera ensuite avec nous, par le téléphone.

Ces indications sont indispensables pour résoudre une des questions les plus intéressantes, qui n'est guère encore abordée, celle de savoir quelle est la force d'un tremblement de terre qui commence à devenir sensible à l'homme.

Ce n'est pas l'amplitude des mouvements qui est décisive pour l'effet produit sur les objets et sur l'homme, mais bien *l'accélération* du mouvement; laquelle pour des oscillations sinusoïdales, croît en raison directe de l'élongation maximum et en raison inverse du carré de la période.

Nous avons eu récemment une confirmation très frappante du rôle prépondérant de l'accélération, en comparant l'intensité du tremblement de terre de Turin, du 26 octobre dernier, ressenti partout en Suisse, à celle d'un autre ébranlement du 31 mai 1912, dont le foyer se trouvait également au sud des Alpes. Bien que dans le premier cas l'amplitude du mouvement du sol (environ 0,19 mm pour la dernière amplitude) fût douze fois plus grande que dans le second, l'effet produit sur l'homme ne différait guère; et cela s'explique très bien par le fait que, le 31 mai, la période n'était que de 0,4 secondes (la plus courte que nous ayons jamais trouvée) tandis que, le 26 octobre, elle était de 1,35 secondes.

D'une façon générale, nous avons trouvé qu'il faut une accélération d'environ 0,4 cm sec^{-2}, soit 4 dix-millièmes de celle de la gravité terrestre, pour qu'un tremblement de terre commence à être ressenti par plusieurs observateurs. Si cette limite d'accélération n'est pas atteinte, on peut se trouver devant son sismographe, lequel, comme poussé par une main invisible, commence à inscrire un diagramme couvrant toute la feuille; mais on ne ressent aucun mouvement, et l'on reste stupéfait.

Nous avons déjà constaté plus haut l'importance de connaître le moment de l'arrivée des premières ondes et leur amplitude exacte. Ces données sont particulièrement importantes pour calculer la distance et la direction du foyer et même pour entamer le problème de l'angle d'émergence et de la profondeur du foyer, ainsi que de la vitesse de propagation.

Or il arrive souvent, avec nos tremblements de terre alpins, qui heureusement, sous le rapport humain, sont faibles, que l'intensité de leurs premières ondes est en-dessous de la sensibilité de nos appareils, leur amplitude n'atteignant pas même un micron. En ce cas, ce n'est que la seconde phase qui est bien marquée; mais, à elle seule, elle ne peut pas servir à grand'chose.

Ne pouvant pas augmenter la force de nos tremblements de terre, nous sommes donc obligés de nous procurer des instruments encore plus sensibles; un examen plus détaillé de la question prouve, qu'un agrandissement de 1000 à 2000 serait nécessaire. A la suite d'un rapport que nous avons adressé à la commission météorologique fédérale, celle-ci a décidé en principe qu'une partie des revenus du fonds Brunner serait réservée à ces nouveaux instruments. Il fallait se demander si, pour ce but, les appareils à induction électromagnétique et à enregistrement optique du prince Galitzine ne seraient pas préférables aux appareils à enregistrement mécanique. Mais, pour nos conditions particulières, ces derniers ont paru plus pratiques, bien que plus volumineux.

Il est vrai que les dimensions d'un appareil mécanique, dont on exige une plus grande sensibilité augmentent très vite; car la masse lourde doit s'accroître avec le carré de l'agrandissement exigé; ceci par suite du fait que le moment d'inertie du système agrandissant croît dans la même proportion. Il faudra donc une masse de 20 000 kg au moins. Un instrument de dimensions semblables a déjà été construit par M. Wiechert, donnant d'excellents résultats pour la composante horizontale des tremblements rapprochés.

La nécessité de posséder aussi une composante verticale équivalente et la grande place et le prix élevé qu'exigent des instruments pareils, nous a fait étudier le problème de *relier* les trois composantes à la *même* masse.

En collaboration avec le Dr Piccard qui s'est intéressé à ce problème, nous venons d'élaborer un projet qui paraît satisfaire aux conditions assez rigoureuses qui se posent.

Il va sans dire qu'un instrument de cette sensibilité devra être installé à l'abri de toute perturbation extérieure. Sous ce

rapport, notre observatoire offre toutes les garanties : Ses fondements reposent directement sur le rocher, et il est situé à plusieurs kilomètres de la ville et des chemins de fer, en pleine forêt, où la croix peinte en noir omineux sur son frontispice effraie les promeneurs zurichois égarés. Les trépidations de la ville et des établissements industriels ne peuvent donc pas se faire sentir. Il est vrai que l'aspect de ces perturbations se distingue des diagrammes sismiques. Mais, pratiquement, elles empêchent énormement la recherche de ces derniers sur les feuilles.

Il en est de même des *microsismes,* c'est-à-dire des mouvements continuels, bien qu'infiniment petits, qui sont observés dans toute l'Europe, quand les grandes tempêtes d'hiver sévissent sur la mer du Nord. Il semble prouvé qu'il s'agit surtout de l'effet des vagues qui viennent se briser contre les rochers des côtes de Norvège. Dans les observatoires sismologiques d'Allemagne, une grande partie des sismogrammes obtenus en hiver est inutilisable à cause de ces microsismes. Mais en Suisse nous sommes suffisamment éloignés de l'océan pour que l'effet soit déjà considérablement affaibli. Nous pouvons donc espérer posséder, d'ici à un an ou deux, un sismographe qui permettra de continuer, dans des conditions encore meilleures, les recherches déjà si bien inaugurées par l'installation actuelle.

SUR L'INDIVIDUALITÉ

DES

FERMENTS OXYDANTS ET RÉDUCTEURS

PAR

A. BACH

Dans un travail récemment publié, Mlle Gertrude Woker[1] a énoncé une nouvelle hypothèse sur la nature et le fonctionnement des ferments oxydants et réducteurs. D'après cette hypothèse, l'*oxygénase* qui fixe l'oxygène moléculaire avec formation de peroxydes, la *peroxydase* qui transporte l'oxygène faiblement combiné des peroxydes sur des matières oxydables, la *catalase* qui décompose le peroxyde d'hydrogène avec mise en liberté d'oxygène moléculaire et la *perhydridase* qui transporte l'hydrogène faiblement combiné sur des matières réductibles, ne seraient qu'un seul et même ferment de nature aldéhydique et fonctionnant dans des conditions de milieu différentes. S'appuyant sur la théorie de l'oxydation lente de Bach-Engler, Mlle Woker admet que sous l'action de l'oxygène moléculaire, ce ferment aldéhyde formerait un peroxyde organique $R\cdot HC\begin{cases}O\cdot OH\\OH\end{cases}$ lequel prendrait également naissance dans l'action du peroxyde d'hydrogène sur le même ferment. Celui-ci fonctionnerait donc, dans le premier cas, comme oxygénase, dans le second cas, comme peroxydase. En l'absence de matières oxydables, le peroxyde formé agirait sur le peroxyde

[1]) *Ber. Chem. Ges.*, 1914, **47**, 1024.

d'hydrogène en excès avec dégagement d'oxygène moléculaire et fonctionnerait ainsi comme catalase. En présence de matières oxydables, il produirait les oxydations connues. Quant à la fonction perhydridase, fonction réductrice, elle s'expliquerait tout naturellement, puisque le ferment est supposé être de nature aldéhydique et par conséquent doué de propriétés réductrices.

L'hypothèse d'un ferment unique exerçant des fonctions différentes suivant l'état du milieu est certes séduisante, puisqu'elle répond au besoin constant de notre esprit de réduire les phénomènes complexes à des expressions de plus en plus simples. Mais, pour être utile, une hypothèse doit s'appuyer sur un certain nombre de données expérimentales précises et, pour le moins, ne pas être en contradiction manifeste avec les faits qu'elle prétend coordonner. Etant donné le haut intérêt théorique des questions soulevées par Mlle Woker, j'ai cru devoir soumettre son hypothèse à la vérification par l'expérience. A mon vif regret, l'épreuve lui a été entièrement défavorable.

I. Les ferments oxydants et réducteurs ne sont pas des aldéhydes

Plusieurs auteurs ont déjà émis l'idée que les ferments étaient des aldéhydes ; mais aucun d'eux n'a encore apporté de preuve directe à l'appui de cette idée. Des ferments qui nous intéressent, deux, la peroxydase et la catalase ont pu être préparés à l'état physiologiquement pur, c'est-à-dire ne contenant aucun autre ferment. L'oxygénase est toujours accompagnée de peroxydase d'avec laquelle elle ne peut être séparée que par une précipitation fractionnée laborieuse, et encore la séparation est-elle plus ou moins incomplète. Quant à la perhydridase (ferment Schardinger), elle perd son activité dès qu'on cherche à l'extraire et à l'obtenir à l'ètat solide. Pour vérifier l'hypothèse de Mlle Woker, j'ai cherché à déterminer si la peroxydase et la catalase soigneusement purifiées donnaient les réactions carrctéristiques des aldéhydes. Pour la purification

de ces ferments, je me suis servi d'un appareil à ultrafiltrer que j'ai décrit récemment dans un travail sur la limite de sensibilité de la peroxydase [1]. Les deux ferments ont d'abord été purifiés comme à l'ordinaire en précipitant les extraits (extrait de raifort pour la peroxydase, extrait de foie de porc pour la catalase) par l'alcool. Les précipités séchés dans le vide sur du chlorure de calcium ont été dissous et les solutions filtrées ont été soumises à l'ultrafiltration dans le vide pendant un mois, en remplaçant chaque fois par de l'eau bouillie et additionnée de toluène le liquide qui a traversé l'ultrafiltre. De cette manière, les ferments ont pu être lavés sur l'ultrafiltre avec près de 1200 cc. d'eau sans perte notable de leur activité. La peroxydase obtenue a fourni, dans l'oxydation du pyrogallol en présence d'une quantité suffisante de peroxyde d'hydrogène, 108 mg. de purpurogalline par mg. de ferment. Pour apprécier le degré d'activité et par conséquent le degré de pureté de cette préparation, il suffit de se rapporter aux données suivantes :

La première peroxydase préparée par Bach et Chodat [2] a donné, par mg. de ferment, 2 mg. de purpurogalline. Avec une peroxydase purifiée par une précipitation réitérée de Stöcklin [3] en a obtenu 5 mg. En précipitant une solution de 52 g. de peroxydase par la sous-acétate de plomb, éliminant le plomb et soumettant la solution à la dialyse, Bach et Tcherniack [4] ont obtenu 36 mg. de purpurogalline par mg. de ferment. La purification par l'ultrafiltre m'a permis de porter ce nombre à 98 mg. (*l. c.*) et enfin à 108 mg. Quant à la catalase purifiée, son activité était telle qu'en moins d'une minute 1 mg. de ferment décomposait 20 cc. d'une solution à 1 % de peroxyde d'hydrogène avec dégagement de la quantité théorique d'oxygène libre.

Ayant concentré par ultrafiltration les solutions de ces ferments de façon à ce qu'elles renferment environ 10 mg. de substance solide au centimètre cube, je les ai essayées par les

[1]) *Ber. Chem. Ges.*, 1914, **47**, 2122.
[2]) *Ber. chem. Ges.*, 1903, **36**, 600.
[3]) Contribution à l'étude de la peroxydase. Genève, 1907 (thèse).
[4]) *Ber. chem. Ges.*, 1908, **41**, 2345.

réactifs usuels des aldéhydes. Il s'est trouvé que ces solutions ne réduisaient pas l'oxyde d'argent ammoniacal à froid, même après 72 heures de contact, et ne donnaient pas trace de coloration violette avec le réactif fuchsine-bisulfite. On peut donc affirmer avec certitude que ni la peroxydase, ni la catalase ne sont des aldéhydes. Le mélange de peroxydase et d'oxygénase (phénolase) préparé comme à l'ordinaire ne donne pas non plus les réactions des aldéhydes. Mais comme l'essai a été fait sur une préparation non purifiée et relativement peu active, on pourrait peut-être objecter que la quantité de ferment aldéhyde était trop faible pour être décelée au moyen des réactions indiquées. En ce qui concerne la perhydridase, elle ne saurait être considérée comme aldéhyde parce que, par elle-même, elle n'exerce aucune action réductrice et que, comme il a été amplement démontré [1], elle n'agit comme agent réducteur qu'en présence d'aldéhydes vraies ou de substances susceptibles de fournir des aldéhydes vraies (réduisant l'oxyde d'argent ammoniacal à froid et colorant en violet le réactif fuchsine-bisulfite).

Il résulte de ce qui précède que le point de départ de l'hypothèse de Mlle Woker, la nature aldéhydique des ferments oxydants et réducteurs, est en désaccord avec les faits.

A défaut de preuves directes, Mlle Woker a cherché à étayer son hypothèse par des analogies. Elle a trouvé que l'aldéhyde formique et l'aldéhyde acétique accéléraient l'oxydation de la benzidine par le peroxyde d'hydrogène et décomposaient le même peroxyde avec dégagement d'un gaz. Ces aldéhydes fonctionneraient donc à la fois comme peroxydase et comme catalase. Mlle Woker constate elle-même que d'autres aldéhydes ne donnent pas ces réactions, ce qui prouve que la présence du groupe aldéhyde ne confère pas encore à une substance chimique la faculté de fonctionner comme peroxydase et comme catalase. Au surplus, entre l'action de la peroxydase et celle de l'aldéhyde formique dans l'oxydation de la benzidine par le peroxyde d'hydrogène, il n'y a aucune analogie précise. L'ob-

[1] A. Bach, *Bioch. Z.* 1911, **33**, 282; 1912, **38**, 154; 1913, **52**, 412; 1913, **58**, 205.

servation de Mlle Woker est parfaitement juste : lorsqu'on laisse tomber sur un morceau de papier à filtrer une goutte d'une solution alcoolique à 4 % de benzidine et une goutte d'une solution de peroxyde d'hydrogène, et sur un autre morceau de papier une goutte de chacune de ces solutions avec, en plus, une goutte d'une solution à 0,4 % d'aldéhyde formique, il se produit en quelques instants, dans le dernier cas, une coloration bleue intense, tandis que dans le premier la coloration n'apparaît qu'au bout d'un temps plus ou moins prolongé. Mais si, pour éliminer l'influence du papier à filtrer, on répète l'expérience avec les mêmes solutions en plus grand dans des tubes à essais, il ne se forme plus de matière colorante bleue. Dans l'essai en présence d'aldéhyde formique, le liquide prend un aspect laiteux par suite de la formation du dérivé méthylénique de la benzidine et ne se colore pas en bleu même après 24 heures. Mais en y ajoutant une trace d'acide formique ou d'acide acétique, on voit immédiatement apparaître la coloration bleue. Il est donc évident que, dans la réaction de Mlle Woker, c'est le papier à filtrer qui accélère l'oxydation du dérivé méthylénique de la benzidine et l'accélère probablement en favorisant la formation d'acide formique nécessaire pour la réaction. Si l'on considère, en outre, que l'aldéhyde formique n'accélère point l'oxydation du pyrogallol, du gaïacol et de l'hydroquinone par le peroxyde d'hydrogène, on arrive nécessairement à la conclusion suivante : *la peroxydase n'est pas une aldéhyde; les aldéhydes n'agissent pas comme la peroxydase.*

II. La peroxydase n'est pas identique a la catalase

Mlle Woker relate quelques expériences qu'elle considère comme apportant des preuves à l'appui de l'identité de la peroxydase et de la catalase. Mais ces preuves sont de nature indirecte et ne prouvent, au fond, rien.

1. En faisant chauffer des extraits végétaux, la peroxydase et la catalase qu'ils renferment deviennent inactives à la même

température, soit à 78°. En admettant qu'il en soit ainsi de tous les extraits végétaux, ce qui n'est sûrement pas le cas, il existe un fait bien établi par plusieurs expérimentateurs et qu'il est impossible de concilier avec l'hypothèse de l'identité de la peroxydase et de la catalase : la peroxydase est régénérée de ses solutions rendues inactives par la chauffe, tandis que la catalase ne l'est pas.

2. Les rapports entre la peroxydase et la catalase dans des plantes de maïs cultivées dans différentes conditions sont presque toujours « parallèles ».

3. Ces rapports ne changent pas par la dialyse.

4. Les sucs de champignons qui ne contiennent pas de peroxydase renferment beaucoup de catalase.

Il est facile de voir que les faits relatés par Mlle Woker ne laissent rien préjuger de l'identité ou de la non-identité de la peroxydase et de la catalase, étant parfaitement compatibles avec l'une et l'autre alternative.

En possession de préparations de peroxydase et de catalase longuement purifiées par ultrafiltration et extraordinairement actives, j'ai cherché à aborder le problème par un autre côté. Si la peroxydase et la catalase ne sont qu'un seul et même ferment fonctionnant dans des conditions de milieu différentes, on devrait pouvoir trnsformer l'une dans l'autre en plaçant celle-ci dans les conditions nécessaires pour le fonctionnement de celle-là et inversément, Dans cet ordre d'idée, la peroxydase serait ce ferment hypothétique accompagné de substances qui déclanchent sa propriété d'accélérer l'action oxydante du peroxyde d'hydrogène, de même que la catalase ne serait que le même ferment entouré de substances qui déclanchent sa faculté de décomposer le peroxyde d'hydrogène avec mise en liberté d'oxygène moléculaire. Par conséquent, en ajoutant à une solution de peroxydase pure les substances qui accompagnent la catalase, c'est-à-dire une solution de catalase rendue inactive par la chauffe, on devrait reconstituer au moins partiellement la fonction de décomposer le peroxyde d'hydrogène avec mise en liberté d'oxygène. Les expériences ont été faites dans un appareil permettant de recueillir et de mesurer exactement les gaz dégagés 1° par 5 mg. de peroxydase et 20 cc.

d'une solution à 1 % de peroxyde d'hydrogène pur ; 2° par 5 mg. de catalase et la même quantité de peroxyde d'hydrogène ; 3° par 5 mg. de catalase rendue inactive et 4° par 5 mg. de peroxydase et 5 mg. de catalase inactive en présence de 20 cc. de peroxyde d'hydrogène. Le degré d'activité de la peroxydase et de la catalase employées a été mentionné plus haut. Les résultats suivants ont été obtenus :

Oxygène dégagé à 16° et 714 mm.

Nature du mélange	Durée de l'expérience	Centimètres cubes
Peroxydase + H_2O_2 . .	24 heures	0,1
Catalase + H_2O_2 . . .	Quelques secondes	66,9
Catalase inact. + H_2O_2.	24 heures	0,0
Catalase inact. + Peroydase + H_2O_2 . . .	24 heures	0,0

La quantité de peroxydase employée pouvait fournir, dans l'oxydation du pyrogallol, 540 mg. de purpurogalline en réagissant avec 234,6 mg. de peroxyde d'hydrogène [1]. En l'absence de pyrogallol, elle n'a provoqué la décomposition du peroxyde d'hydrogène (200 mg.) ni seule, ni avec le concours des substances qui constituent le milieu de la catalase, alors que le même milieu conférait à la catalase la faculté de décomposer *instantanément* la même quantité de peroxyde d'hydrogéne. On pourrait objecter toutefois que les substances qui accompagnent la peroxydase l'empêchent de fonctionner comme catalase même lorsqu'on la place dans un milieu qui déclanche l'action de celle-ci. Mais l'expérience montre qu'il n'en est rien. J'ai déjà démontré à une autre occasion [2] que la présence de peroxydase n'empêchait en rien la catalase de manifester toute son action. Pour plus de sûreté, j'ai répété la même expérience avec la peroxydase et la catalase purifiées par ultrafiltration.

[1]) D'après l'équation : $2C_6H_6O_3 + 3H_2O_2 = C_{11}H_8O_5 + CO_2 + 5H_2O$ la formation de 1 g. de purpurogallin exige 0,453 de peroxyde d'hydrogène.

[2]) *Ber. chem. Ges.*, 1905, 1878, **38** ; 1906, 1670, **39**.

Oxygène dégagé à 17°,5 et 722 mm.

Nature du mélange	Durée de la réaction	Centimètres cubes
1 mg. de catalase + 20 cc. H_2O_2	Moins d'une minute	65,7
1 mg. de catalase + 20 cc. H_2O_2 + 5 mg. de peroxydase	Moins d'une minute	65,5

Donc, si en présence de substances qui accompagnent la catalase la peroxydase ne décompose pas le peroxyde d'hydrogène avec dégagement d'oxygène, ce n'est pas parce qu'elle renferme des substances qui s'opposent à cette réaction.

Pour se rendre compte si la catalase peut fonctionner dans des conditions quelconques comme peroxydase, il convient d'examiner l'action simultanée de ces deux ferments sur le peroxyde d'hydrogène. Nous venons de voir que la peroxydase n'empêchait pas la catalase, en l'absence d'une matière oxydable, de décomposer avec mise en liberté d'oxygène la totalité du peroxyde d'hydrogène qui lui est fourni. Mais il en est tout autrement lorsque la réaction a lieu en présence d'une substance susceptible d'être oxydée par le système peroxydase + peroxyde. Ainsi que je [1] l'ai démontré, la catalase, même employée en *très grand excès,* n'empêche pas une quantité minime de peroxydase de manifester son action dans ces conditions. Naturellement, le résultat final dépend des proportions relatives de ces deux ferments en présence, puisque les deux réactions — l'accélération de l'action oxydante du peroxyde d'hydrogène et sa décomposition avec mise en liberté d'oxygène inerte — s'effectuent en même temps. D'autre part, en ajoutant à la catalase purifiée par ultrafiltration une grande quantité de peroxydase rendue inactive par la chauffe, on constate que le système n'acquiert pas la moindre propriété oxydante. Tous les faits exposés plus haut démontrent amplement, à mon avis, l'individualité nettement caractérisée de la peroxydase et de la catalase.

[1]) *Ber. chem. Ges.*, 1906, 1664, **39**.

III. La peroxydase n'est pas identique a l'oxygénase

La question de savoir si la peroxydase peut fonctionner comme oxygénase, c'est-à-dire si elle est capable de transporter l'oxygène *moléculaire* sur des matières oxydables, a déjà été envisagée par plusieurs auteurs et résolue par la négative. Ce qui a contribué à créer une confusion, c'est le fait suivant : Les substances employées comme réactifs de la peroxydase — phénols, amines aromatiques — s'oxydent déjà spontanément à l'air en formant des peroxydes en quantités plus ou moins appréciables. Lorsqu'on opère sur des réactifs partiellement oxydés et contenant des peroxydes, la peroxydase transporte l'oxygène faiblement combiné de ceux-ci sur le substrat non encore oxydé et donne ainsi l'illusion de provoquer l'oxydation par l'oxygène libre. Mais si l'on emploie des réactifs fraîchement préparés, la peroxydase n'exerce aucune action oxydante en l'absence de peroxydes. Il m'a paru intéressant de vérifier à nouveau ces faits par des expériences quantitatives à l'aide de la peroxydase purifiée par ultrafiltration et très active.

J'ai fait passer un courant d'air pur dans trois fioles Erlenmeyer contenant :

1° 50 cc. d'une solution à 2 % de pyrogallol pur et fraîchement préparé.

2° Même solution + 10 mg. de peroxydase dans 10 cc.

3° 10 mg. de peroxydase dans 10 cc.

Au bout de trois heures, le contenu de la première fiole (pyrogallol seul) a pris une teinte jaune-brun très appréciable, tandis que, dans la seconde fiole, le liquide (pyrogallol + peroxydase) montrait une coloration beaucoup plus intense. Mais en mélangeant 25 cc. de la solution de pyrogallol contenue dans la première fiole avec 5 cc. de la solution de peroxydase contenue dans la troisième, j'ai obtenu *instantanément* une coloration sensiblement identique à celle du liquide de la

deuxième fiole. Ce résultat pouvait être dû soit à la formation de peroxyde dans la solution de pyrogallol, soit à la formation de peroxyde dans la solution de peroxydase transformée ainsi en système oxydant complet (peroxydase + peroxyde). Pour élucider le problème, j'ai fait agir, d'une part, 5 cc. de solution de peroxydase *fraîche* sur 25 cc. de la solution de pyrogallol *oxydé* (fiole 1), d'autre part, 5 cc. de solution de peroxydase traitée par l'air (fiole 3) sur 25 cc. d'une solution à 2 % de pyrogallol *fraîchement préparée*. Tandis que, dans le premier cas, le mélange a pris *instantanément* une coloration jaune-brun comparable à celle du contenu de la fiole 2, le mélange est resté, dans le second, pendant près d'un quart d'heure parfaitement incolore. Pour les expériences quantitatives, on a prélevé sur chacun des liquides mentionnés 20 cc. et comparé les teintes au colorimètre en prenant pour unité de comparaison la coloration du liquide dans la fiole 1 (pyrogallol seul). Voici les résultats numériques obtenus :

Intensités de coloration

Solution de pyrogallol traitée par l'air	1,0
Solution de pyrogallol additionnée de peroxydase et ensuite traitée par l'air	1,67
Mêmes solutions traitées séparément par l'air et ensuite réunies	1,65
Solution de pyrogallol traitée par l'air + peroxydase fraîche	1,63
Solution de pyrogallol fraîche + peroxydase traitée par l'air	0,0

Ces expériences montrent à l'évidence que la peroxydase purifiée n'a pas de pouvoir oxydant propre et n'en acquiert pas sous l'action de l'air. Elle n'agit donc pas comme oxygénase.

Il restait encore à déterminer si les substances qui accompagnent l'oxygénase et qui constituent son milieu pouvaient conférer à la peroxydase la faculté de fixer l'oxygène moléculaire et d'acquérir des propriétés oxydantes. Pour ces expériences, je me suis servi d'une préparation de phénolase (peroxydase + oxygénase) extraite de Lactarius vellereus et purifiée par précipitation à l'alcool. L'ordonnance des expé-

riences a été la même que ci-dessus. Les résultats suivants ont été obtenus :

Intensités de coloration

Solution de pyrogallol traitée par l'air	1,0
Pyrogallol + 1 mg. de phénolase active	4,88
Pyrogallol + 1 mg. de phénolase *inactive*	1,15
Pyrogallol + 1 mg. de phénolase *inactive* + 1 mg. de peroxydase	1,73
Solution de pyrogallol fraîche + phénolase inactive et peroxydase traitées par l'air	0,0
Pyrogallol + 1 mg. de peroxydase	1,60

On voit donc que l'addition de phénolase inactive à la peroxydase ne la transforme pas en oxygénase.

IV. La peroxydase n'est pas identique a la perhydridase

Ainsi que je l'ai déjà mentionné plus haut, la perhydridase (ferment de Schardinger) n'a pu jusqu'à présent être isolée des tissus et liquides naturels (lait) qui en renferment. Elle s'y trouve donc en même temps que d'autres ferments, notamment en même temps que la peroxydase. A priori, il ne semblait pas impossible que les réactions attribuées à la perhydridase fussent dues à la peroxydase agissant dans des conditions de milieu spéciales qui se trouvent réalisées dans les tissus ou dans le lait. S'il en était ainsi, on devrait pouvoir faire fonctionner la peroxydase comme perhydridase en la plaçant dans le milieu propre à celle-ci. La meilleure réaction de la perhydridase, celle que j'ai employée dans une série de recherches sur les ferments réducteurs [1], est la réduction des nitrates en nitrites par le lait cru en présence d'aldéhyde acétique, réaction qui ne se produit pas avec le lait bouilli. En remplaçant par de la peroxydase active la perhydridase détruite dans le lait bouilli et faisant agir le mélange sur du

[1]) *Bioch. Z., loc. cit.; Archives*, juillet 1911, **32** ; mai 1914. **37**.

nitrate de soude en présence d'aldéhyde acétique, on devrait obtenir du nitrite de soude facile à caractériser et à doser. Les expériences ont été effectuées comme suit :

A. 40 cc. de lait *cru*, 5 cc. d'une solution à 10 °/₀ d'aldéhyde acétique, 5 cc. d'eau, 2 g. de nitrate de soude, 1 g. de fluorure de sodium.

B. Même mélange avec du lait *bouilli* à la place du lait cru.

C. Même mélange que sous *B* avec 5 cc. d'une solution de peroxydase ultrafiltrée à la place de l'eau.

Les trois fioles contenant ces mélanges ont été placées au thermostat à 50°. Les dosages du nitrite formé ont été opérés comme je l'ai décrit dans des travaux antérieurs *(l. c.)*.

Nitrite exprimé en mg. N_2O_3

Temps	A	B	C
15′	0,62	0,0	0,0
30′	1,27	0,0	0,0
45′	2,02	0,0	0,0
60′	2,32	0,0	0,0
3h	2,94	0,0	0,0
8h	3,23	0,0	0,0

On voit par ces expériences que, placée dans le milieu propice à l'action de la perhydridase, la peroxydase purifiée n'a pas exercé la moindre action réductrice.

Résumé et conclusion

I. La peroxydase et la catalase purifiées par ultrafiltration et la phénolase (peroxydase + oxygénase) ne réduisent pas l'oxyde d'argent ammoniacal à froid et ne colorent pas le réactif fuchsine-bisulfite. Elles ne sont donc pas des aldéhydes.

II. La peroxydase purifiée, additionnée de catalase bouillie, c'est-à-dire de substances qui accompagnent la catalase et constituent son milieu, ne décompose pas le peroxyde d'hydro-

gène avec mise en liberté d'oxygène. La catalase additionnée de peroxydase bouillie n'acquiert pas la propriété d'accélérer l'action oxydante du peroxyde d'hydrogène.

III. La peroxydase additionnée de phénolase (peroxydase + oxygénase) bouillie n'acquiert pas la faculté de transporter l'oxygène moléculaire sur des matières oxydables. En toute circonstance, sa fonction consiste uniquement à transporter l'oxygène faiblement combiné des peroxydes sur des matières oxydables.

IV. Mise en présence de substances qui accompagnent la perhydridase dans le lait, la peroxydase ne réduit pas les nitrates avec le concours de l'aldéhyde acétique, comme le fait la perhydridase.

La peroxydase, la catalase, l'oxygénase et la perhydridase ont donc chacune son individualité nettement définie et l'hypothèse d'un ferment unique de nature aldéhydique et fonctionnant comme chacun des ferments ci-dessus suivant les conditions du milieu (hypothèse de Mlle Woker) est en opposition avec les faits.

Genève, décembre 1914.

LES

CÉVENNES MÉRIDIONALES

(MASSIF DE L'AIGOUAL)

ÉTUDE PHYTOGÉOGRAPHIQUE

PAR

Josias BRAUN

Introduction

A près de 80 kilomètres au nord de Montpellier se dresse le vaste massif de l'Aigoual, montagne classique pour les botanistes du midi de la France. Bien des noms illustres s'attachent à son exploration floristique. Dès le XVIe siècle les maîtres de l'Université de Montpellier y vinrent étudier la flore si variée des montagnes cévenoles. Le célèbre Ch. de l'Ecluse (Clusius), L. Rauwolf, puis Lobel et Pena, les frères Platter, les deux Bauhin, Cherler, Burser ont herborisé dans les bois de l'Espérou et les prairies de l'Hort-de-Dieu : malheureusement, la plupart des plantes récoltées par eux ne portant pas d'indications de localités, n'ont qu'une valeur historique.

Antoine Gouan (1733-1821), professeur à Montpellier, s'occupa le premier, d'une manière plus spéciale, de la flore de l'Aigoual. Dans ses « Herborisations » (1796) Gouan énumère sous le titre « Grande herborisation de l'Espérou » les plantes rares qui se trouvent entre Ganges et le Vigan, à Valleraugue,

à Bramabiau, à l'Aigoual, etc. Il accompagne ces listes de quelques observations relatives à la situation des lieux visités. H. Loret compare avec raison les « Herborisations » à un roman historique où l'erreur est mêlée partout à la vérité.

Au contraire, de Pouzolz a réuni sur la flore de notre domaine beaucoup de données précises dans sa « Flore du Département du Gard » paru en 1856-57. Il a longtemps exploré les Cévennes ; en outre, deux de ses collaborateurs les plus zélés habitaient le pays ; les docteurs Diomède Tueskiewicz, exilé polonais et B.-A. Martin.

Le premier, connu sous le nom de docteur Diomède, a exercé la médecine pendant près de 40 ans dans le coquet village d'Aulas où il mourut en 1882. Son herbier se trouve à l'Institut de Botanique de Montpellier où j'ai eu l'occasion de l'examiner de très près. Les déterminations en sont très exactes et les étiquettes portent souvent avec la localité, des indications précises sur les conditions écologiques et la station. Le modeste médecin d'Aulas qui n'a rien publié fut ainsi l'un des premiers à comprendre l'intérêt des notions phytogéographiques.

B.-A. Martin pratiqua son art à Aumessas de 1842 à 1897, année de sa mort. Ses observations floristiques et systématiques ont paru surtout dans le *Bulletin de la Société botanique de France*. Bon observateur et marcheur infatigable, Martin a beaucoup contribué à l'exploration floristique de nos Cévennes.

Parmi ceux qui ont travaillé à faire connaître la flore des Cévennes de l'Aigoual, il convient de citer, en outre : L. Anthouard, G. Barrandon, J. Cambessèdes, J.-G.-A. Dufour, Fre Marc, H. Loret, J.-E. Planchon, MM. Flahault, les abbés H. Coste et G. Soulié, G. Cabanès, J. Lagarde, le Dr Espagne, M. Fourrès, etc.

Au point de vue phytogéographique, le massif de l'Aigoual est pourtant encore à peu près inconnu en dehors des botanistes de Montpellier. J'ai donc accepté sans hésitation la pensée qui m'a été suggérée par M. Flahault d'entreprendre l'étude phytogéographique détaillée de ce pays. Je me suis proposé, en particulier, d'y appliquer les principes de la méthode d'investigation exposés dans deux mémoires parus en 1913.

L'accueil bienveillant que j'ai reçu à l'Institut de Botanique de Montpellier a beaucoup facilité mes recherches. M. Flahault a mis à ma disposition ses notes personnelles et tous les matériaux qui pouvaient m'être utiles. Pendant l'été de 1913 j'ai reçu l'hospitalité au Laboratoire de l'Hort-de-Dieu édifié par M. Flahault à 1300 m. sur les pentes de l'Aigoual. Grâce à cette situation, j'ai pu explorer avec soin tous les ravins et rochers supérieurs ; bon nombre de trouvailles heureuses en sont résultées.

Mon travail prit bien vite une ampleur telle qu'il me fallut le diviser. La première partie, actuellement terminée, comprend les chapitres généraux. Un second volume, en préparation, sera consacré au catalogue systématique et aux considérations relatives à l'origine de la flore. Il contiendra en outre l'index bibliographique.

Qu'il me soit permis d'exprimer ici mes remercîments à tous ceux qui m'ont aidé dans ce travail.

I. Délimitation ; aperçu orographique et géologique

Le massif de l'Aigoual fait partie de la longue barrière montagneuse du groupe des Cévennes qui limite vers le nord les plaines du Languedoc.

Les Cévennes, au sens le plus large, s'étendent de la Garonne au Rhône ou de la Montagne Noire jusqu'à la Côte d'Or. On y distingue plusieurs massifs nettement séparés par des dépressions. Le massif le plus élevé, les montagnes de la Haute Loire atteignent 1754 m. au Mont Mézenc. Viennent ensuite, de l'est à l'ouest, le Tanargue 1519 m., le Mont Lozère 1702 m., le massif de l'Aigoual 1567 m., les Montagnes de Lacaune 1266 m., la Montagne Noire 1210 m.

Les Cévennes proprement dites ou Cévennes méridionales commencent au Mont Lozère, séparé du Tanargue et du Vivarais par la vallée du Chassezac. Son point culminant, le Pic de Finiels (1702 m.) est à 40 km. seulement au nord-nord-est de l'Aigoual, l'autre sommet des Cévennes méridionales.

Le massif de l'Aigoual tel que nous l'entendons comprend un territoire d'environ 400 km. carrés. Formé presque entièrement de roches primitives, de granits, gneiss et micaschistes, il s'avance en coin entre les plateaux jurassiques des Causses qui, de trois côtés, nord, ouest et sud, viennent butter contre le massif cristallin. Le contact normal entre la région des Causses et le « horst » hercynien a été rompu par divers systèmes de failles. L'érosion, profitant des dislocations tectoniques, a repris plusieurs fois l'œuvre d'élargissement et d'aplanissement. La vallée de l'Arre et la partie supérieure de la vallée de la Virenque ont emprunté en partie une grande faille orientée ouest-est.

La vallée de l'Arre forme vers le sud une bonne limite orographique en même temps que géologique. Vers l'ouest nous délimitons notre territoire par une ligne qui, partant du Col d'Alzon, passe par le Saint-Guiral, le Pas de l'Ase, Montjardin, pour se terminer à Meyrueis. Au nord la limite suit le cours de la Jonte jusqu'à Cabrillac et descend par Massevaques au Tarnon. A l'est enfin, la vallée supérieure du Tarnon, le vallon de Berthezène et le thalweg de l'Hérault jusqu'à Pont d'Hérault bornent notre massif. Pour donner plus d'ampleur à nos conclusions générales nous avons cependant souvent dépassé ces limites.

Le relief de notre territoire est assez complexe. Au centre du massif est situé le Col de la Serréreyde (1302 m.) comparable en quelque sorte au Saint-Gothard dans les Alpes, marquant le point où se rencontrent les principaux chaînons.

A l'est du col une pente douce monte jusqu'au sommet du Grand Aigoual (1567 m.) qui porte l'observatoire météorologique. La croupe principale se termine par le Pic de la Fajeole (1550 m.), dont les escarpements plongent brusquement dans les profondeurs de la vallée de l'Hérault. De la crête principale se détachent plusieurs chaînons parallèles vers le nord-nord-ouest : les Monts de la Jonte 1350-1450 m., le Calcadis 1384 m., la Caumette 1490 m. avec le Montrefiu 1406 m. et la Croix de Fer 1327 m. Adossé au Mont de la Jonte et séparé seulement par la dépression insignifiante de Cabrillac (1200 m.) se dresse le petit chaînon de Cabrillac (1344 m.) que longe la

route de Perjuret à Saint-André-de-Valborgne. L'aspect du paysage : croupes aux grands contours, arrondies, sommités peu saillantes, vallons supérieurs élargis, témoigne de l'ancienneté des vestiges de la montagne hercynienne. Le granit et les schistes métamorphiques dominent absolument. Au nord seulement, vers les limites de notre domaine, le jurassique apparaît. Le petit Causse d'Ayres (1125 m.) près de Meyrueis n'est autre qu'un appendice du Causse Mejean, démembré par l'érosion régressive de la Jonte.

Les chaînons au sud et à l'ouest du Col de la Serréreyde présentent les mêmes formes arrondies de la montagne usée. Elles ne dépassent pas 1440 m. d'altitude. C'est dans la partie occidentale du massif granitique du Saint-Guiral que se trouvent de ce côté les principales hauteurs : Serre de la Luzette 1380 m., Montagne d'Aulas 1422 m., Lingas 1422 m., Luzette d'Aumessas, et à l'extrémité ouest le Saint-Guiral 1365 m. Le granit porphyroïde, contenant de gros cristaux d'orthose (jusqu'à 10 cm. de long, près de la cascade d'Orgon) se décompose plus ou moins facilement et forme une arène friable, entraînée facilement par la pluie. Etincelants sous les rayons du soleil, ces terrains dénudés rappellent de loin des taches blanches de neige. Le sol dérivé de la décomposition du granit est pauvre en matières solubles. Le plus souvent un genêt *(Genista purgans)* couvre les montagnes granitiques dépouillées de forêts et soumises au pâturage.

Le noyau éruptif est entouré de tous côtés d'une bande plus ou moins large de schistes sériciteux micacées ou chloriteux, plissés, redressés en quelques points jusqu'à la verticale (entre Aumessas et Alzon).

Une autre chaîne, moins importante que la précédente, se détache du col de la Serréreyde et court parallèlement à la première, flanquant au nord la vallée de la Dourbie, séparant celle-ci de la vallée du Trévezel. Les sommités s'y élèvent peu au-dessus du niveau moyen de la crête, elles atteignent à peine 1400 m. au Col de Faubel, 1341 m. au Suquet sur Dourbies, pour tomber ensuite à 1000 m. (Signal de Dourbies). La chaîne se termine brusquement à la faille qui limite le massif siliceux au couchant.

La croupe siliceuse, arrondie, du versant nord de cette chaîne porte encore en plusieurs endroits, notamment au Suquet un manteau de grès triasique, demeuré comme témoin des érosions qui ont enlevé la couverture de terrains secondaires. Le grès triasique affleure encore près de Camprieu, entre le vallon du Trévezel et la Serréreyde, ainsi que dans la vallée de la Jonte au-dessus de Gatuzières. Au point de vue édaphique les grès triasiques diffèrent à peine des sols siliceux. Ils portent une flore essentiellement calcifuge.

Il en est autrement pour les calcaires compactes du jurassique qui occupent encore le vallon du Bonheur et du Trévezel jusqu'à Bramabiau et constituent les petits causses de Camprieu, de la Boissière, de Canayères, Comeiras et Montjardin sur la bordure de notre territoire. Ils appartiennent géologiquement au Causse noir, dont l'érosion les a détachés. Leur altitude varie entre 900 et 1100 m. La flore de ces calcaires est essentiellement calcicole.

Un dernier petit causse adossé au massif du Saint Guiral et appartenant par sa situation à notre territoire est le roc d'Esparron dans la vallée de l'Arre, qui se dresse à 670 m. Ses couches montrent une concordance parfaite avec celles de la Tessone sur la rive droite de la rivière. L'Arre, déviant de sa direction générale qui coïncide avec la grande faille de Sauclières — le Vigan a séparé ce fragment du Causse de Blandas. La rivière a creusé son sillon jusqu'au fin fond du Trias.

En plusieurs endroits les schistes métamorphisés qui enveloppent de tous côtés le noyau granitique sont traversés par des couches d'un calcaire cristallin très compact de couleur noirâtre qui donne asile à une flore nettement calcicole. Cette roche dépourvue de fossiles remonte sans doute à l'époque primaire. M. Bergeron (l. c. 1907) la considère comme appartenant au Géorgien, tandis que les calcschistes et les assises silicifiées en contact seraient de l'Acadien et du Potsdamien. Ces calcaires du Géorgien forment la nappe sur laquelle est bâtie la ville du Vigan et qui s'étend de deux côtés de l'Arre de la côte de Roquedur jusqu'à Bréau. Une seconde couche affleure un peu au nord et au dessus de la nappe du Vigan, formant une bande

étroite le long du massif de Saint-Guiral depuis le col des Mourèzes jusqu'à Alzon et s'élevant à 750 m. près d'Arrigas.

On retrouve ces affleurements ça et là au milieu du massif cristallin, notamment dans la vallée supérieure de l'Hérault près de Mallet, au dessous de l'Hort-de-Dieu, dans le vallon de la Fajeole à 1250 m., à l'Hort-de-Dieu même (1300 m.) à Comberude (1300 m.) et à 1520 m. sur la route au dessous de l'observatoire (affleurement aujourd'hui caché par les éboulis). Le calcaire y est généralement d'un gris fauve et très dolomitique, fortement soluble. Les affleurements de Comberude, de la Fajeole, du bas de l'Hort-de-Dieu appartiennent à une même bande de largeur variable (10—30 m.) qu'on retrouve à travers les escarpements des Affraissinèdes jusqu'au vallon de la Dauphine. Elle est jalonnée de plantes calcicoles dont deux au moins *(Phyteuma Charmeli* et *Avena montana)* ne se rencontrent nulle part ailleurs dans le massif de l'Aigoual.

Le centre du réseau hydrographique correspond au point de jonction des principales chaînes. Aux environs de la Serréreyde, sur la ligne de partage des eaux entre la Méditerranée et l'Atlantique prennent naissance trois rivières importantes: l'Hérault, la Dourbie et le Trévezel. Le premier recueille toutes les eaux du versant méditerranéen; Dourbie et Trévezel réunis se déversent dans le Tarn, affluent de la Garonne.

Le régime hydrographique détermine en première ligne les formes du relief. A cet égard il existe un *contraste frappant entre le versant méditerranéen et le versant atlantique.* L'érosion méditerranéenne a creusé des vallées profondes à pentes rocheuses; les flancs abrupts démantelés apparaissent souvent à nu ou couverts d'éboulis. La proximité de la mer contribue à accélérer le creusement sur ce versant.

Du côté atlantique, au contraire, l'œil se repose sur les prairies et forêts verdoyantes qui tapissent les mamelons et les pentes douces de la pénéplaine. Les rivières atlantiques gardent assez longtemps un niveau élevé. La Dourbie par exemple descend de *280 m.* seulement sur un parcours de 12 km., tandis que l'Hérault s'abaisse de *1050 m.* sur un trajet de 9 km. seulement! Sur un parcours de 15 km., le Tarnon (versant nord)

descend de 1350 à 770 m., le Coudouloux, du versant sud de 1350 à 240 m. sur 13 km. de trajet.

Une *conséquence directe de l'érosion active du versant méditerranéen est la progression lente de la ligne de partage des eaux du côté atlantique* et la capture des affluents atlantiques par les torrents méditerranéens. La meilleure occasion de saisir ce phénomène se présente aux sources de la Dourbie sur le plateau de Piélong. Le sol dénudé par l'abus du pâturage est en train de se raviner malgré sa faible inclinaison. Les ravines provenant du ruissellement des eaux de pluie sont capturées une à une par le torrent affluent de l'Hérault. M. Bergeron (l. c. 1908) fait remarquer qu'autrefois la Dourbie et plusieurs de ses affluents prenaient leur source sur le versant méridional de l'Aigoual ; l'érosion progressive de l'Hérault a dû capter les ruisseaux du vallon de Mallet et de la Dauphine, qui en sont les sources actuelles. Si de Piélong, on considère le flanc méridional de l'Aigoual, il est évident que les dépressions des deux rives de l'Hérault supérieur ont été en continuité, qu'elles ont été coupées par l'active érosion du fleuve.

Une des sources du Tarnon qui descend du Pic de la Fajeole vers Aire de Côte est également menacée d'être captée par un torrent méditerranéen. L'étroite barrière rocheuse qui la sépare encore du ruisseau de Berthezène n'a guère plus d'une quinzaine de mètres de hauteur.

Le principal cours d'eau du versant méditerranéen, l'Hérault, prend sa source à 1400 m. dans les hêtraies des environs de la Serréreyde. Après une chute rapide par un vallon étroit aux flancs profondément ravinés, il traverse Valleraugue (360 m.) et change de direction. A travers des châtaigneraies, des prairies et des vergers il s'écoule vers le sud et reçoit l'Arre à Pont d'Hérault (180 m.) point inférieur de notre territoire.

L'Arre, l'affluent le plus important de l'Hérault moyen, prend naissance au Col d'Alzon à 700 m. environ. Renforcé par les torrents qui descendent de la montagne du Saint-Guiral et du Lingas, cette rivière suit à peu près la faille de Sauclières-Le Vigan-Sumène, entre le massif siliceux et les plateaux jurassiques. Jusqu'à Molières, la vallée reste fort encaissée, dominée à droite par la muraille ravinée du Causse de Blandas. L'activité

humaine se concentre sur les pentes siliceuses de la rive gauche, à l'adret ensoleillé, moins abruptes, riches en sources et couvertes de belles châtaigneraies. A Molières-Cavaillac l'Arre reçoit les eaux du Coudouloux, issu des molières de Montals. Ici la vallée s'élargit pour former le bassin verdoyant du Vigan. Cette petite ville est adossée à une des dernières collines de la montagne siliceuse, protégée de tous côtés contre les vents et entourée de riches cultures. Les jardins de la ville abritent un grand nombre de végétaux exotiques.

En aval du Vigan, la vallée se rétrécit de nouveau. La rivière s'est creusée un lit profond dans le roc schisteux. Sur les flancs de la montagne des fourrés de chênes verts et des châtaigneraies alternent avec les terrasses superposées en gradins, soutenues par des murs de pierres sèches, où l'on cultive l'olivier, la vigne et les légumes du midi. A Pont d'Hérault, après un parcours de 20 km., les eaux de l'Arre se mêlent à celles de l'Hérault.

La Dourbie, la plus importante de nos rivières atlantiques, sort des molières du plateau de Piélong. En dépit de ses nombreux méandres, elle prend une direction à peu près parallèle à celle de l'Arre, mais en sens inverse (vers l'ouest). Elle est jalonnée des nombreux hameaux de la commune de Dourbies. Après avoir reçu les appoints du versant nord du Lingas et du Saint-Guiral, elle quitte notre territoire, reçoit à Cantobre le Trévezel et s'engouffre dans les gorges du Causse noir.

Le Trévezel et son affluent le ruisseau de Bonheur, permettent d'observer en action une des modes de creusement des cañons. Les deux rivières naissent aux environs du col de la Serréreyde et se dirigent vers l'ouest à travers des prairies et des forêts de hêtres. Au contact de l'Infralias, le ruisseau de Bonheur se perd subitement dans une caverne entre des couches horizontales de calcaire, le Bramabiau. Après un parcours de plus de 6 km., il sort à 125 m. plus bas, par une fissure verticale au fond d'un superbe cirque de rochers. Puis il s'engage dans une gorge boisée et rejoint le Trévezel près de la Moline (700 m.). Les deux rivières réunies quittent notre domaine par la cluse étroite du Pas de l'Ase.

La Jonte sort de la croupe septentrionale de l'Aigoual à 1450 m. et recueille la plupart des eaux de ce versant. Jusqu'à Gatuzières

(800 m.) elle coule à travers les schistes sud-est-nord-ouest. Buttant alors contre les falaises jurassiques du Causse Méjean, elle décrit un arc, prenant la direction sud-ouest et longe le front du causse jusqu'à Meyrueis, bourg de 1600 habitants, assis sur un replat alluvial et entouré de mamelons liasiques marneux.

A Meyrueis la Jonte reçoit la Brèze et le Bétuzon qui ont leurs sources sous les hêtres de la grande forêt de l'Aigoual (les Oubrets, la Caumette). En aval de Meyrueis la Jonte se perd dans un cañon plus grandiose encore que celui du Pas de l'Ase, bordé des deux côtés de falaises hautes de plusieurs centaines de mètres. Au Rozier elle rejoint le Tarn.

L'angle nord-est de notre massif est tributaire du Tarnon, affluent du Tarn ; il prend sa source au Pic de la Fajeole à 1350m. Plusieurs ruisseaux insignifiants (Brion, Trépaloux) venant du Grand Aigoual lui apportent leurs eaux. A la Brasque, près de Vébron, il reçoit le ruisseau de Trépaloux et quitte notre territoire.

SOCIÉTÉ SUISSE DE PHYSIQUE

Communications ayant figuré à l'ordre du jour de la séance qui devait avoir lieu à Berne le 2 septembre 1914.

Prof. De Kowalski. Etude sur la décharge sans électrodes. — Ed. Guillaume. Sur les probabilités en physique. — Prof. P. Gruner. Applications des analogies entre les lois de l'électricité et de l'élasticité. — Prof. Ch.-Eug. Guye et P. Woïkoff. Déterminations du frottement intérieur aux températures basses. — Prof. Ch.-Eug. Guye et A. Tscherniavski. Nouveau modèle d'électromètre sous pression. — Prof. Ch.-Eug. Guye et Ch. Lavanchy. Inertie des électrons cathodiques de grande vitesse. — A. Schidlof et A. Karpovicz. Détermination de la charge de l'électron au moyen de très petites gouttes de mercure. — A. Tscherniavski et Popoff. Ecoulement du mercure par les fils étamés. — Ed. Berchten. Frottement intérieur aux températures élevées. — Th. Christen. Les mesures de rayonnement en médecine. — Prof. A. L. Bernoulli. Relation quantitative entre la viscosité et la fréquence ultrarouge de la sylvine, du sel marin et de quelques métaux. — M. Carrard. Sur la chaleur spécifique des ferro-magnétiques. — Prof. P. Weiss et A. Piccard. L'aimantation du nickel en fonction du champ et de la tem pérature. — Prof. P. Weiss. Nouvelles mesures magnétiques. — H. Zickendraht. Récepteur radiotélégraphique universel. — Prof. A. Forster. *a)* Applications scientifiques des plaques photographiques autochromes ; *b)* influence de la température sur la cathodoluminescence. — Prof. F. Ehrenhaft. L'électricité est-elle constituée atomiquement? — Prof. A. Hagenbach et W. Frey. Mesures à l'arc voltaïque continu entre des électrodes de nickel. — E. Steinmann. Mouvement sur le plan incliné. *a)* Détermination de la vitesse à un moment donné ; *b)* détermination de la force de freinage et de l'accélération négative due à cette force.

Prof. de Kowalski (Fribourg) : *Etude sur la décharge sans électrodes.*

Pour illuminer les gaz renfermés dans un ballon sphérique sous l'influence d'un courant à haute fréquence, il est nécessaire de créer une chute de potentiel dans les gaz, suffisante pour produire une ionisation par choc. Pour y arriver l'auteur emploie la disposition suivante :

Un circuit oscillant primaire composé d'une grande capacité

C_1, d'une petite bobine de self L et d'un déchargeur à choc est couplé à un circuit secondaire ayant une petite capacité C_2, une grande self L_2 et en résonnance avec le premier.

Si on unit les bornes de C_2 à un déchargeur, on peut obtenir une longue étincelle, vu que

$$\frac{v_1}{v_2} = \alpha \sqrt{\frac{C_2}{C_1}}$$

Entre le déchargeur et les bornes de C_2 on cale la spirale agissant sur la sphère dans laquelle est contenu le gaz. Ce procédé a été appliqué à une étude des gaz ultrararéfiés. Les gaz suivants ont été étudiés : l'air, l'azote, l'hélium, l'argon, le néon et les gaz qui se dégagent d'un tube en verre exposés pendant dix ans à l'action du radium, etc.

Dr Ed. Guillaume (Berne) : *Sur les probabilités en Physique* (1).

I. Dans les méthodes statistiques, il est d'usage d'établir une comparaison entre le système étudié et des tirages dans des urnes. Lorsqu'on fait plusieurs tirages dans une même urne en remettant chaque fois la boule dans celle-ci, il faut agiter l'urne pour produire un « brassage » des boules afin de rendre indépendantes les probabilités des tirages successifs. H. Poincaré a étudié un cas important de brassage : le battage d'un jeu de cartes. A chaque coup, les cartes subissent une permutation et, comme le joueur a certaines habitudes, les différentes permutations possibles ont des probabilités différentes de se produire. Avec un jeu de k cartes, il y a $k!$ permutations possibles ayant pour probabilités respectives : $p_1, p_2, \ldots p_k$. Poincaré montre que quelles que soient les habitudes, d'ailleurs inconnues, du joueur, autrement dit, quels que soient les p, l'ordre final des cartes ne dépend pas de l'ordre initial si le nombre n de battements est très grand, le cas trivial excepté où l'un des p est égal à 1, et les autres sont tous nuls. Ce résultat reste valable même en considérant un système réel joueur-cartes, qui se transforme nécessairement avec le temps (usures des cartes, changements d'habitudes du joueur, etc.) ; les p deviennent alors des fonctions inconnues du temps qui n'expriment pas autre chose que l'absence de régularité.

Ce brassage peut être appelé brassage à une dimension, celui des boules dans une urne étant à trois dimensions.

(1) Ce résumé est extrait d'un travail étendu sur *la théorie des Probabilités et la Physique*, dont la première partie a paru dans les *Archives*, décembre 1914, t. XXXVIII, p. 373.

Il est important d'introduire le cas limite obtenu en imaginant des opérateurs fictifs *(démons)* :

1° ou bien qu'ils n'ont aucune espèce d'habitudes, autrement dit, dont les mouvements sont parfaitement décoordonnés ; alors tous les p sont égaux et tous les ordres sont également probables au premier battement ;

2° ou bien qui ont certaines habitudes, mais sont capables d'effectuer un nombre infini de battements en un temps très court τ.

C'est ce cas limite que nous appellerons le *brassage parfait.*

Il est intéressant de remarquer que lorsqu'on passe de la première alternative à la seconde, le nombre de battements passe brusquement de la valeur 1 à une valeur infinie. Adopter la première alternative revient simplement à postuler d'emblée l'indépendance parfaite. Sitôt qu'il s'introduit une *coordination* dans les mouvements, si faible soit elle, il faut une infinité de coups pour faire disparaître toute trace de l'ordre initial. Ceci ne saurait étonner si l'on remarque que l'indépendance *parfaite* ne peut être qu'un concept limite. Dans les applications, on sera conduit à envisager une indépendance plus ou moins approchée. A cet effet, on pourra introduire pour n une valeur de relaxation.

II. Imaginons maintenant k cases alignées, portant chacune une carte d'un jeu de k cartes numérotées de 1 à k. Un opérateur ramassera les cartes et les reposera sur les cases dans un certain ordre. L'opération sera répétée à intervalles fixes, c'est-à-dire, à des temps $t, t+\tau, t+2\tau, \ldots$, et les distributions obtenues seront notées sur un diagramme. Nous supposons l'opérateur complètement libre d'adopter, pour la succession des distributions, telle ou telle loi qu'il voudra, en particulier, par exemple, de maintenir indéfiniment le même ordre.

Choisissons h cases et demandons-nous quelle est la probabilité pour que dans *une* des distributions considérées isolément, la carte n° i soit sur l'une des cases choisies. Ne sachant rien du tout, nous ne pouvons croire favorisée aucune case en particulier : la probabilité cherchée sera $\frac{h}{k}$ et nous la nommerons la *probabilité subjective* de l'événement considéré.

En examinant ensuite le diagramme, nous constaterons qu'en général, la dite carte ne se trouve pas du tout, en moyenne, à peu près h fois sur k dans l'une des cases considérées, et que la *loi des écarts* n'est pas satisfaite. Ce serait, par contre le cas, si, entre chaque distribution, les cartes étaient soumises à un brassage parfait, ou si le joueur adoptait volontairement une loi de succession *infiniment compliquée.*

Nous appellerons *probabilité objective parfaite* la probabilité d'un événement obtenu à l'aide du brassage parfait.

III. Les notions précédentes permettent de caractériser très simplement les deux points de vue qui dominent l'emploi des probabilités en Physique :

1° La méthode de Bolzmann, basée sur l'hypothèse du « désordre moléculaire ». Au lieu d'admettre cette hypothèse qui ne correspond à aucune réalité, on raisonnera comme suit : les molécules gazeuses suivent des lois si compliquées qu'on peut passer à la limite et supposer le gaz « brassé parfaitement » dans son récipient. En établissant alors une correspondance entre les brassages parfaits d'un jeu de cartes opérés aux époques $t, t+\tau, t+2\tau, \ldots$, et la position et la vitesse des molécules à ces instants, on est conduit, par l'expression des *probabilités objectives parfaites,* à la fonction H et à l'entropie qui, ainsi, apparaissant sous leur vrai jour, ne s'appliquent qu'au cas limite.

2° La méthode de Gibbs : On admet les équations générales de la Mécanique et on remplace l'étude d'un système déterminé par celle d'un ensemble de systèmes, dont on cherche des *types moyens,* qui, bien entendu, diffèrent selon la façon de prendre les moyennes. Si les systèmes sont très compliqués, c'est-à-dire, si le nombre de degrés de liberté est très grand, la *probabilité subjective* pour qu'un système pris dans l'ensemble se comporte à peu près comme un des types moyens, est très voisine de l'unité.

Lorsque le nombre de libertés augmente, les types moyens de Gibbs et le cas limite de Boltzmann offrent des propriétés de plus en plus voisines.

Prof. P. Gruner. — *Applications des analogies entre les lois de l'électricité et de l'élasticité* [1].)

MM. le prof. Eug. Guye et P. Woïkoff (Genève).

Les auteurs ont procédé à une nouvelle série de *déterminations du frottement intérieur aux températures basses* et cela par l'observation de l'amortissement des oscillations d'un fil de torsion. Les expériences antérieures avaient été effectuées par la méthode du double fil qui permet d'expérimenter sur des fils sans traction, mais qui par suite des corrections qu'il faut apporter pour le fil de suspension, présente quelque incertitude particulièrement aux basses températures lorsque l'amortissement est très petit. Les nouvelles expériences dont les résultats seront publiés en détail ultérieurement ont été effectuées par la méthode

[1]) Voir *Archives,* t. XXXVIII, p. 237.

du fil unique et cela sur quelques métaux et sur des fils de quartz fondu. La variation du décrément logarithmique *aux basses températures* s'est montrée sensiblement linéaire ; mais en extrapolant la droite qui représente ce décrément, il ne semble pas que le frottement doivent s'annuler au zéro absolu. Toutefois ce résultat ne peut être accepté que sous toutes réserves, attendu qu'aux très basses températures (air liquide) l'amortissement est si petit qu'il est bien difficile de savoir si une partie de cet amortissement résiduel n'est pas dû aux causes extérieures (résidu gazeux et communication de force vive au support).

A la suite de cette communication M. Guye tient à faire quelques remarques générales et personnelles sur la *nature du frottement intérieur des solides* telle que les expériences effectuées jusqu'ici au Laboratoire de physique de l'Université de Genève permettent de l'envisager.

En premier lieu, la grande diminution du frottement intérieur lorsque la température s'abaisse avait amené précédemment M. Guye à considérer le frottement intérieur comme résultant, en grande partie du moins, de l'agitation thermique. Dans cette conception, le frottement intérieur devrait tendre à s'annuler au fur et à mesure que l'on s'approche davantage du zéro absolu. En effet, si l'on considère les atomes d'un corps solide, comme occupant des positions fixes, autour desquelles s'effectuent leurs oscillations propres, lorsque l'amplitude de ces oscillations deviendra suffisamment petite par rapport aux distances qui séparent les atomes les uns des autres, les actions mutuelles deviendront indépendantes du mouvement non coordonné de ces oscillations, c'est-à-dire de la température ; elles pourront alors être considérées comme des forces dérivant d'un potentiel : telles les forces de la gravitation. Dans cette manière de voir, à la limite jamais atteinte, des basses températures, un fil de torsion réaliserait le perpétuel mobile [1].

En second lieu, si l'on envisage des températures plus élevées et que l'on compare l'allure générale des courbes du décrément logarithmique en fonction de la température pour un même échantillon, on est frappé de l'analogie que présentent en général ces courbes avec celles qui représentent dans les formules d'Einstein, de Nernst et Lindenmann ou de Debye, l'énergie calorifique accumulée dans un solide. Ces courbes sont le plus souvent d'abord lentement croissantes, puis plus rapidement, enfin pour les températures élevées la rapidité avec laquelle croît le décrément devient très grande, c'est le cas par exemple pour l'aluminium dont le point de fusion est relativement bas.

[1]) Soc. de Phys. et d'Hist. nat., Genève, 2 mai 1912.

D'autre part, il est aisé de démontrer pour des mouvements élastiques faiblement amortis, que le décrément logarithmique représente approximativement la fraction de l'énergie élastique disponible, consommée à chaque oscillation. Il est donc permis de supposer que cette fraction d'énergie consommée à chaque oscillation est une fonction croissante de l'énergie cinétique des atomes et peut-être des électrons libres, particulièrement dans le cas des métaux aux températures élevées. Des expériences en cours d'exécution permettront peut-être d'arriver à la détermination de la forme de cette fonction. Mais M. Guye tient à mentionner dès maintenant une corrélation qui semble unir les variations du frottement intérieur des solides à celles de la compressibilité; une augmentation de la compressibilité entraînant le plus souvent sur un même échantillon une augmentation du frottement intérieur.

Cette corrélation a été observée à plusieurs reprises sur l'invar et sur diverses sortes de verres.

On peut s'en rendre compte par les considérations suivantes. Si l'on représente par

$$W = 3R \frac{\beta v}{e^{\frac{\beta v}{T}} - 1}$$

l'énergie accumulée dans l'atome gramme d'un corps solide (la moitié de cette énergie étant de l'énergie cinétique) et que l'on envisage d'autre part la relation approchée d'Einstein qui relie la fréquence ν, le poids moléculaire, la densité et la compressibilité du solide, il est aisé de se rendre compte que, toutes conditions égales, une augmentation de la compressibilité K entraînera une diminution de la fréquence propre ν et une augmentation de l'énergie cinétique $\frac{W}{2}$, par conséquent une augmentation du frottement intérieur dans les hypothèses précédentes.

De même les corps dont la chaleur atomique est très faible renferment, toutes conditions égales, une énergie cinétique plus petite et devraient présenter un frottement intérieur très petit, puisqu'une partie seulement de leurs atomes sont susceptibles de vibrer. Tel est par exemple le cas du quartz dont la chaleur atomique moyenne à la température ordinaire est environ 3 au lieu de 6 et dont le frottement intérieur est, comme l'on sait, remarquablement petit.

L'étude corrélative du frottement intérieur et de la chaleur spécifique présente un très grand intérêt au point de vue des hypothèses précédentes, aussi est-elle poursuivie depuis quelque temps au Laboratoire de physique de l'Université de Genève, dans des expériences dont les résultats seront publiés ultérieurement.

Prof. Ch.-Eug. Guye et A. Tscherniavski (Genève).

Les auteurs ont entrepris la construction d'un *nouveau modèle d'électromètre sous pression* pour la mesure exacte des très hauts potentiels. Le nouvel instrument est établi de façon à pouvoir être introduit dans l'axe d'un récipient de forme cylindrique allongée, de construction plus simple, plus légère et moins encombrante que le modèle précédent. Dans le nouveau modèle les lectures sont faites par la méthode de l'échelle et du miroir.

Prof. Ch.-Eug. Guye et Ch. Lavanchy (Genève). — *Inertie des Electrons cathodiques de grande vitesse.*

Les auteurs ont repris la *détermination du rapport* $\frac{\mu}{\mu_0}$ *pour les rayons cathodiques de grande vitesse* et cela par la méthode des trajectoires identiques déjà utilisée au Laboratoire de Physique de Genève. Divers perfectionnements importants ont été cependant apportés à la méthode ; ces perfectionnements sont relatifs à la production des rayons cathodiques, la forme donnée au condensateur et particulièrement la substitution de l'enregistrement photographique à l'observation directe. Dans ces conditions les déterminations ont pû être effectuées beaucoup plus rapidement de façon à diminuer autant que possible les variations qui se produisent dans la dureté du tube au cours d'une même série d'expériences. En outre les mesures sur les clichés peuvent être effectuées tranquillement et en toute sécurité. Les premiers résultats obtenus concorde à $^1/_2$ $^0/_0$ environ avec la formule de Lorentz-Einstein et cela pour des vitesses comprises entre 130,000 et 140,000 kilomètres à la seconde. Les résultats des mesures définitives et le détail des expériences seront publiés ultérieurement.

A. Schidlof et A. Karpovicz. — *Détermination de la charge de l'électron au moyen de très petites gouttes de mercure.*

Nous avons effectué des expériences de même genre que celles qui ont été faites par M. R. A. Millikan ou plus récemment par l'un de nous en collaboration avec Mlle J. Murzynowska (1), mais en utilisant des gouttes de mercure à la place de gouttes d'huile. Mous avons pu ainsi observer des gouttes d'un diamètre beaucoup plus petit, de sorte que dans nos expériences les écarts de la loi de Stokes présentent une importance considérable. Notre principal but était un contrôle expérimental des différentes formules de correction proposées.

Environ 60 expériences, portant sur des gouttes dont le rayon

1) *Comptes rendus,* 1913, t. 156, p. 304.

varie de 10^{-4} à 10^{-5} cm., ont été exécutées. Malheureusement nos résultats sont loin d'atteindre la même précision que ceux qui ont été obtenus au moyens de gouttes d'huile. Il y a pour cela plusieurs raisons :

1° Les gouttes de mercure sont *volatiles,* ce qui n'est pas le cas pour les gouttes d'huile. Cet effet, signalé par nous dans une note antérieure [1], gêne les expériences, en produisant une variation continuelle des durées de chute et d'ascension, et cela d'autant plus que les gouttes examinées sont plus petites.

2° On observe en outre des variations irrégulières des durées de chute et d'ascension qui sont dues à des fluctuations statistiques. Ces « écarts Browniens » entraînent des erreurs considérables et difficiles à corriger, parce que nous n'avons pu que rarement effectuer des expériences d'une durée supérieure à 20 minutes.

3° D'autres causes d'erreur (traces de courants de convection, poussière, etc.) produisent des perturbations d'autant plus sensibles que les gouttes étudiées sont plus petites.

Malgré ces difficultés nous avons obtenu une plus grande concordance des résultats que nous n'osions espérer. Nous avons calculé jusqu'à présent les résultats pour celles des gouttes qui portaient moins de 10 charges élémentaires. Pour des gouttes plus fortement chargées les difficultés signalées plus haut rendent le calcul plus aléatoire.

Nos résultats conduisent aux conclusions suivantes :

1° La charge élémentaire existe réellement (et non seulement sous forme d'une moyenne statistique), car nous n'avons jamais observé une irrégularité dépassant les écarts qu'il faut attribuer aux causes d'erreur signalées plus haut.

2° La formule de correction de Cunningham ne semble pas s'appliquer exactement aux sphérules dont le diamètre est de l'ordre du chemin moyen des molécules d'air.

3° Quoique les calculs ne soient pas encore terminés, on peut affirmer que la valeur de la charge de l'électron, résultant de nos expériences actuelles, s'accorde approximativement avec la valeur obtenue antérieurement.

A. Tscherniavski et Popoff. — *Ecoulement du mercure par les fils étamés.*

Ed. Berchten. — *Frottement intérieur aux températures élevées.*

[1]) *Comptes rendus,* 1914, t. 158, p. 1992.

Th. Christen (Berne). — *Les mesures de rayonnement en Médecine.*

Ce que le physicien demande à ses méthodes de mesures, c'est *la plus grande précision possible,* tandis que le médecin désire avant tout des méthodes aussi *pratiques que possible.* Certes, le médecin a besoin de précision, mais la nature des mesures permet à celle-ci d'être d'un degré beaucoup moindre : avec une exactitude de 10 %, au plus 5 %, nous sommes en général, satisfaits. Par contre, nos méthodes doivent éviter un dispositif compliqué et permettre un travail rapide.

Comme exemple, je citerai les pastilles de Ba-Pt-Cy d'après Sabouraud et Noiré, qui, malgré les objections des physiciens, restent toujours le moyen préféré de dosage des rayons Röntgen. Cependant, l'incertitude atteint 10 %.

Dans les traîtés on distingue en gros deux méthodes : la « qualitative » et la « quantitative ». Mais sitôt que l'on essaye de préciser, on voit que *deux* données ne suffisent pas.

Pour la « qualité », on a les instruments de Benoist, Wehnelt, etc., qui reposent sur les absorptions des rayons de différentes espèces par l'argent et l'aluminium, ou bien les appareils de Klingelfuss et Bauer, qui se servent de la tension du secondaire, mais qui ne peuvent être employés pour les rayons « filtrés », ou enfin la mesure de l'épaisseur de la couche d'eau donnant au rayonnement la moitié de sa valeur initiale. On a dit de cette dernière méthode qu'elle n'était que d'apparence plus exacte que les autres, car elle ne fournit rien sur la composition des faisceaux hétérogènes. Cependant, on doit convenir que, pour des rayons homogènes, cette méthode est plus exacte qu'aucune autre basée sur une échelle arbitraire quelconque. Il en est comme pour une lumière qui se trouve mieux déterminée par une longueur d'onde que par un nom de raie. Enfin, ajoutons que tout inventeur d'appareils pour la mesure de la dureté — et certes, il y en a plus qu'il n'en faut — se croît obligé d'inventer en même temps une nouvelle échelle, dont aucune n'est en rapport simple avec les autres. La méthode de la couche d'eau, au contraire, donne une notion physique claire, qui permet, même pour les rayons hétérogènes, de se faire une idée nette de la marche de l'absorption. Il est plus aisé au médecin de se représenter la couche d'eau, mesurée en centimètres, qu'un coefficient d'absorption de dimension cm^{-1}.

En ce qui concerne la composition de faisceaux hétérogènes, il est clair qu'on ne peut déterminer une somme de propriétés par une mesure unique : au degré « Wehnelt 7 » ou « Klingelfuss 120 » correspond une infinité de faisceaux différents.

L'énergie d'un rayonnement homogène décroît suivant l'exponentielle :

$$E = E_0 \cdot e^{-\alpha x} = E_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{a}{x}} \tag{1}$$

ou x est l'épaisseur de la couche absorbante, α le coefficient d'absorption et a l'épaisseur de la couche d'eau donnant au rayonnement la moitié de sa valeur initiale. S'il y a n composantes dans le faisceau, on a :

$$E = E_0 \cdot \frac{\sum_{k=1}^{k=n} b_k \cdot e^{-\alpha_k \cdot x}}{\sum_{k=1}^{k=n} b_k} = E_0 \cdot \frac{\sum_{k=1}^{k=n} b_k \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{x}{a_k}}}{\sum_{k=1}^{k=n} b_k} \tag{2}$$

Il n'y a donc pas une mesure, mais $(2n-1)$ mesures à effectuer [$(2n-1)$ et non $2n$, car l'un des b_k reste arbitaire]. D'autre part, la résolution de ce problème mathématique ne tentera aucun médecin.

Ici, la méthode de la couche d'eau offre une solution facile. Nous appellerons : « couche première », a', celle qui réduit à 50 % l'énergie initiale du faisceau complexe ; « couche seconde », a'', celle qui réduit l'énergie de 50 % à 25 % ; « couche troisième », a''', celle qui réduit l'énergie de 25 % à 12,5 %, etc. La loi d'absorption de Röntgen nous dit alors que :

$$a' < a'' < a''' < a'''' \ldots$$

L'accroissement des épaisseurs et d'autant plus accentué que l'hétérogénéité est plus grande, et leur quotient donne une mesure de celle-ci. Plus un rayonnement s'approche de l'homogénéité, plus les quotients

$$\frac{a''}{a'}, \quad \frac{a'''}{a''} \quad \text{usw.}$$

seront faibles.

Pratiquement, le quotient $\frac{a''}{a'}$ suffira ou, si l'on tient à un nombre plus grand, $\frac{a'''}{a'}$. De toute façon, il nous faudra deux nombres pour déterminer la « qualité », sitôt qu'il s'agira de rayons nettement hétérogènes.

Les appareils médicaux donnent :

$$E = E_0 \cdot \frac{\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{2x}{m}} + \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{x}{2m}}}{2} \qquad (3)$$

où x est l'épaisseur de la couche absorbante et m une constante caractéristique de la dureté. De là :

$$\frac{a'}{m} = 0{,}94 \quad \frac{a''}{m} = 1{,}33 \quad \frac{a'''}{m} = 1{,}78 \quad \frac{a''''}{m} = 1{,}98 \quad \frac{a^{V}}{m} = 2 \quad \frac{a^{VI}}{m} = 2 \quad \text{etc.}$$

$$\text{et} \quad \frac{a''}{a'} = 1{,}4 \qquad \frac{a'''}{a'} = 1{,}9$$

A l'aide de la formule approchée (3), on peut encore déterminer la plus grande action en profondeur des rayons hétérogènes. Si l'on définit la *dose* D d'énergie absorbée par unité de volume, par :

$$D = -\frac{dE}{dx} \qquad (4)$$

on trouvera que cette dose est maximum à la profondeur x donnée par l'équation :

$$\frac{dD}{dx} = 0$$

Pour des rayons homogènes, d'après (1), on trouve :

$$a = x \,.\, \log.\ \text{nat}.\ (2)$$

Pour les rayons hétérogènes par contre (2), donne des calculs trop compliqués. La formule approchée (3) donne :

$$m = \frac{x \,.\, (\log.\ \text{nat}.\ (2)}{0{,}74}$$

et comme

$$a_1 = m \,.\, 0{,}94$$

on trouve :

$$a_1 = x \,.\, 0{,}88$$

Comme, d'autre part, il est préférable de choisir les rayons plutôt trop durs que trop mous, on peut énoncer la règle simple :

Pour un rendement donné d'un appareil Röntgen, l'action

à une profondeur déterminée sous la peau est maximum lorsque la dureté est choisie de façon que l'épaisseur de la couche d'eau est égale à celle de la couche première.

Cette règle vaut pour des rayons hétérogènes quelconques.

Ce qui a été dit pour la « qualité » peut être dit pour la « quantité ». Toutes les divergences trouvées dans ce domaine, proviennent de ce qu'on ne sait jamais très bien ce que l'on mesure. On n'a pu montrer si l'on mesurait l'énergie par unité de surface ou de volume. Ceci ne ferait rien, si l'on avait toujours à faire à un même rayonnement homogène. Mais déjà pour des rayons homogènes de duretés différentes, les résultats dans les deux cas, *énergie de surface* (énergie incidente par unité de surface) ou bien *doses* (énergie absorbée par unité de volume), doivent être fondamentalement différents. Les mesures les plus illusoires sont les mesures photographiques avec l'argent où l'épaisseur de la couche diminue tandis que celle de la couche d'eau augmente.

Une *Commission internationale pour la mesure du rayonnement*, dont l'initiative est dûe aux Bergonié, Dean Butcher, Holzknecht, etc. n'a, malheureusement, pas pu, par suite des circonstances, continuer ses travaux cependant si pressants, pour le domaine qui nous occupe.

Prof. A.-L. Bernoulli (Bâle). — *Relation quantitative entre la viscosité et la fréquence ultra-rouge de la sylvine, du sel marin et de quelques métaux.*

M. Carrard. — *Sur la chaleur spécifique des ferromagnétiques.*

P. Weiss et A. Piccard (Zurich). — *L'aimantation du Nickel en fonction du champ et de la température.*

P. Weiss (Zurich). — *Nouvelles mesures magnétiques.*

H. Zickendraht (Bâle). — *Récepteur radiotélégraphique universel* [1].

Prof. A. Forster (Berne). — a) *Applications scientifiques des plaques photographiques autochromes ;* b) *influence de la température sur la cathodoluminescence.*

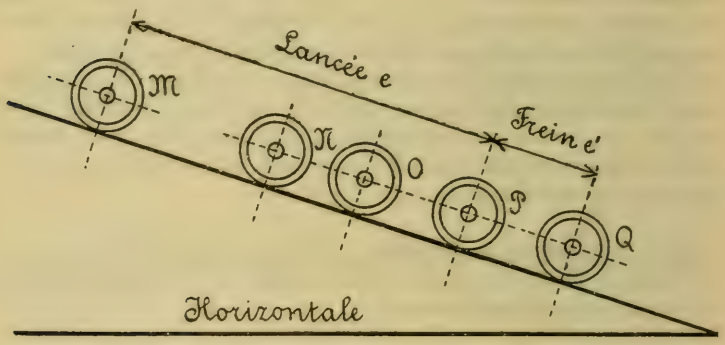
Prof. F. Ehrenhaft. — *L'électricité est-elle constituée atomiquement ?*

[1]) Voir *Archives*, t. XXXVIII, p. 239.

Prof. A. Hagenbach et W. Frey. — *Mesures à l'arc voltaïque continu entre des électrodes de nickel* [1].

E. Steinmann (Genève). — *Mouvement sur le plan incliné.* a) *Détermination de la vitesse à un moment donné.* b) *Détermination de la force de freinage et de l'accélération négative due à cette force.*

Quand un mobile descend le long d'un plan incliné, le frottement et la résistance de l'air s'opposent à son mouvement. Aux faibles vitesses, ces résistances peuvent sans erreur sensible être considérées comme constantes; le mouvement est alors uniformément accéléré.



La détermination de la vitesse à un moment donné semble donc pouvoir se résumer à la mesure du temps écoulé depuis le départ, et de l'espace parcouru, et à l'application de la formule

$$v = \frac{2e}{t}$$

qui résulte des équations

$$e = \frac{at^2}{2} \qquad v = at$$

Les mesures effectuées d'après cette méthode sur de courts espaces sont faussées :

1° Par la difficulté de déterminer l'instant exact du départ.

2° Par l'existence du frottement *au repos,* bien plus considérable que le frottement *en marche.*

[1] Voir *Archives*, t. XXXVIII, p. 229.

a) La méthode qu'on va exposer éliminera ces deux causes d'erreur ; on ne s'occupe plus de l'instant du départ.

M est le point de départ ; on note, par exemple par un contact électrique, le passage du mobile en trois points successifs N, O, P du plan incliné.

On aura, en se reportant pour les notations au schéma ci-dessous :

Points	M	N	O	P
Temps	0	$\leftarrow t \rightarrow$	$\leftarrow T \rightarrow$	
Vitesses	0	V	V′	v
Chemins	0	$\leftarrow b \rightarrow$	$\leftarrow c \rightarrow$	

et en désignant par a l'accélération :

$$1)\quad V' = V + at$$
$$2)\quad v = V' + aT$$
$$3)\quad b = \frac{V + V'}{2} . t$$
$$4)\quad c = \frac{V' + v}{2} . t$$

d'où on tire

$$a = 2\,\frac{\frac{c}{T} - \frac{b}{t}}{t + T}$$

L'accélération est le double de la différence des vitesses moyennes des trajets OP et NO, divisée par le temps nécessaire pour aller de N à P et

$$v = \frac{c}{T} + \frac{aT}{2}$$
$$V = \frac{b}{t} - \frac{at}{2}$$
$$V' = \frac{b}{t} + \frac{at}{2}$$

b) En appelant e la distance MP, et e' la distance PQ parcourue depuis l'application des freins (en P) jusqu'à l'arrêt (en Q), F le frottement en marche libre, résistance de l'air comprise, φ la force de freinage, P le poids du véhicule, on a, par l'équation du travail

$$(1)\qquad (G - F)(e + e') = \varphi e'$$

G étant la composante du poids parallèle au plan incliné, G-F la force motrice nette, produisant l'accélération a. Le principe de la proportionnalité des accélérations aux forces donnera

$$\frac{a}{g} = \frac{G - F}{P} \tag{2}$$

d'où enfin

$$\varphi = \frac{aP}{g}\left(\frac{e}{e'} + 1\right)$$

En appelant y l'accélération négative, et en appliquant derechef le principe de la proportionnalité, on aura

$$\frac{y}{g} = \frac{\varphi}{P}$$

d'où enfin

$$y = a\left(\frac{e}{e'} + 1\right)$$

L'objection que l'on pourrait faire au calcul *b)* est qu'on admet implicitement que le frottement *en marche* existe dés le début, tandis qu'en réalité il est remplacé en M par le frottement *au repos ;* mais cette considération, qui a son importance dans la mesure du temps *relativement long* qui s'écoule jusqu'à ce que le corps ait pris son mouvement définitif, n'a pas d'importance dans l'équation du travail ; si le temps du départ est relativement long, le chemin est *très petit* et n'intervient presque pour rien dans le calcul du travail.

BULLETIN SCIENTIFIQUE

MÉTÉOROLOGIE

Dr Julius von Hann : Lehrbuch der Meteorologie. Dritte, unter Mitwirkung von Prof. Süring in Potsdam, umgearbeitete Auflage. Leipzig, Chr. Herm. Tauchnitz 1914, 847 pag. avec 108 figures dans le texte, 38 planches et 4 cartes.

Nous avons le plaisir d'annoncer l'apparition de la troisième édition du traité classique « Lehrbuch der Meteorologie » de notre célèbre météorologiste Jul. von Hann ; elle a été de nouveau considérablement augmentée et restera toujours une œuvre scientifique de premier ordre pour notre science.

Nous trouvons dans cette nouvelle édition, précieusement rédigée et très bien illustrée, tous les résultats d'observations importants avec les développements de tous les théorèmes et problèmes météorologiques avec la clarté, — sans grand appareil de formules — qui est propre à ce grand savant ; mais ce qui rend cet ouvrage particulièrement précieux et indispensable aux lecteurs et spécialement aux étudiants, ce sont les nombreux renvois très complets aux sources et les indications sur la littérature du sujet pour chaque chapitre de la météorologie ; c'était aussi un avantage notable de la première édition.

Tous les nouveaux et importants résultats de l'aérologie se trouvent admirablement rédigés dans un chapitre spécial par Prof. Süring à Potsdam, savant bien connu par ses travaux aérologiques et c'est aussi lui l'auteur du nouveau chapitre sur les nuages.

Tous nos collègues salueront avec plaisir l'apparition de la nouvelle édition de cet excellent ouvrage.

J. M.

CHIMIE

Die Basler chemische Industrie Kollectiv-Gruppe Schweizerische Landesaustellung. Bern. 1914. Buchdruckerei Werner-Riehm à Bâle. 96 pages.

Les personnes qui s'intéressent au développement dans notre pays, de l'industrie si prospère des matières colorantes dérivées

*

du goudron de houille et de celle des produits pharmaceutiques synthétiques, trouveront dans cette brochure des renseignements fort intéressants sur la marche de ces industries à Bâle, dès leurs débuts, en 1856 pour la première et en 1894 pour la seconde. Il y est rendu compte des nombreuses découvertes qui ont été faites en Suisse dans ces domaines de l'activité industrielle, si intimement liée aux progrès de la chimie scientifique.

GÉOGRAPHIE

S. Brunies. Der schweizerische Nationalpark, 1 vol. 8° de 212 p. avec nombreuses figures et planches et une grande carte. Lib. édit. Frobenius, Bâle 1914.

M. le Dr. Brunies, secrétaire de la Ligue suisse pour la protection de la nature et de la commission du même nom de la Société helvétique des sciences naturelles offre là au public, ami de la nature, un volume plein de charme qui l'initiera complètement à tout ce qui concerne la création de la grande réserve des Grisons entreprise par la Ligue, sous l'impulsion de M. Paul Sarasin, son président, avec le concours subséquent de la Société helvétique et avec l'aide financier de la Confédération qui en a fait une œuvre nationale le « Parc national suisse ».

Cette grande réserve constituée en pleine région alpestre, au sein d'une nature grandiose, destinée à rester entièrement livrée à elle-même, à l'abri de toute intervention de l'homme, et ne lui étant livrée que pour qu'il en fasse l'objet de ses observations scientifiques, est unique en son genre.

Après un rapide aperçu historique, l'auteur promène ses lecteurs en tous sens à travers le Parc, lui en faisant voir toutes les beautés naturelles avec ses aspects, si variés et toujours imposants, de hautes cimes et de profondes vallées alpestres, constituant un paysage tout prêt à revêtir le caractère de la nature primitive, depuis qu'il est débarrassé de l'action destructive de l'homme.

Passant du point de vue pittoresque aux études scientifiques, dont le Parc national doit être l'objet, M. Brunies traite d'abord de sa structure géologique qu'il démontre par un grand nombre de coupes, puis de ses conditions climatériques, de sa flore et enfin de sa faune, ancienne et actuelle. Une belle carte du Parc, à grande échelle, complète cet intéressant exposé. E. S.

MESURES DU COURANT ÉLECTRIQUE

PASSANT DE L'ATMOSPHÈRE A LA TERRE

faites chaque jour à Altdorf et à Fribourg, entre 1 h. 30 et 2 h. du soir

NOVEMBRE 1914

Date	Altdorf			Fribourg			Temps
	λ	P. G.	Courᵗ	λ	P. G.	Courᵗ	
1	220	142	104	299	129	128	—
2	410	51	70	—	—	—	—
3	355	123	145	169	178	100	—
4	72	79	19	95	122	38	—
5	173	93	54	174	95	44	—
6	239	62	49	—	—	—	Brouillard à Fribourg.
7	223	69	51	209	> 250	—	Brumeux »
8	255	72	61	262	> 250	—	» »
9	324	55	59	134	> 250	—	—
10	226	70	53	176	> 250	—	—
11	157	75	39	140	> 250	—	Brouillard à Fribourg.
12	—	—	—	—	—	—	Pluie.
13	173	103	59	149	> 250	—	—
14	—	—	—	—	—	—	Pluie.
15	218	86	62	269	> 250		—
16	232	69	53	—	-	—	Pluie à Fribourg.
17	—	—	—	218	92	70	» Altdf, neige Fribg.
18	159	132	70	165	111	61	—
19	160	55	29	165	128	70	Neige faible à Fribourg.
20	187	77	48	160	144	76	Beau.
21	151	86	43	97	240	78	—
22	175	83	48	186	189-149	105	—
23	127	109	46	28	-930	-86	Brouillard et pluie.
24	256	130	111	22	670-488	42	» à Fribourg.
25	—	—	—	260	133	112	Neige à Altdorf.
26	—	—	—	192	133	85	—
27	97	82	26	33	518	57	Brume à Fribourg.
28	214	112	80	49	592	96	Brouillard »
29	190	77	49	71	318	75	Brumeux.
30	118	86	34	155	266	138	Beau.

Abréviations

λ = conductibilité par ions négatifs et positifs en unités électrostatiques $\times 10^6$

P. G. = gradient du potentiel en volts par mètre, réduit sur terrain plat

Courant vertical, en unités électrostatiques $\times 10^8$

MESURES DU COURANT ÉLECTRIQUE

PASSANT DE L'ATMOSPHÈRE A LA TERRE

faites chaque jour à Altdorf et à Fribourg, entre 1 h. 30 et 2 h. du soir

DÉCEMBRE 1914

Date	Altdorf			Fribourg			Temps
	λ	P. G,	Court	λ	P. G.	Court	
1	78	116	30	265	74	65	Couvert en partie.
2	87	133	39	258	138	116	Très beau.
3	117	100	39	256	—	—	» »
4	—	—	—	116	296	115	Nébuleux à Fribourg.
5	140	74	35	—	—	—	Pluie »
6	255	44	37	306	114	116	Pluie le matin.
7	—	—	—	278	130	116	» à Altdorf.
8	332	65	72	363	104	127	Tendance à fœhn.
9	499	36	60	42	—	—	Fœhn à Altdorf.
10	—	—	—	—	—	—	Pluie Altdorf, Fribourg.
11	179	62	37	205	116-149	93	—
12	185	78	48	346	158	184	—
13	180	86	52	278	134	124	—
14	505	44	74	pluie	—	—	Fœhn à Altdorf.
15	220	68	50	388	97	125	Beau.
16	142	72	34	303	—	—	Pluie à Fribourg.
17	155	16	83	193	114	93	» à Altdorf.
18	—	—	—	75	—	—	Nébuleux à Fribourg.
19	—	—	—	267	126	112	A la pluie »
20	—	—	—	60	132-166	30	Brume »
21	190	79	50	269	158	141	Assez beau.
22	211	62	44	216	155-186	124	Beau.
23	207	64	44	175	138-189	91	Très beau à Altdorf.
24	275	76	70	208	132	91	Nébuleux à Fribourg.
25	257	70	60	—	—	—	Couvert.
26	303	52	53	141	252	36	—
27	198	82	54	85	330	94	Brumeux à Fribourg.
28	166	102	56	45	352	52	Pluie »
29	282	99	93	247	96-138	99	—
30	200	100	67	242	166-125	122	Assez beau.
31	465	263	407	44	322	47	Fœhn t. f. Altd., br. Frib.

Abréviations

λ = conductibilité par ions négatifs et positifs en unités électrostatiques $\times 10^6$

P. G. = gradient du potentiel en volts par mètre, réduit sur terrain plat

Courant vertical, en unités électrostatiques $\times 10^6$

OBSERVATIONS METÉOROLOGIQUES

FAITES A

L'OBSERVATOIRE DE GENÈVE

PENDANT LE MOIS

DE DÉCEMBRE 1914

Le 3, pluie de 2 h. à 7 h. du soir.
4, brouillard le matin, pluie dans la nuit.
5, pluie à 10 h. du matin et de 5 h. 30 à 9 h. du soir.
6, pluie à 9 h. 30 du matin et de 8 h. 30 à 10 h. du soir.
9, brouillard toute la journée et pluie dans la nuit.
10, pluie de 7 h. du matin à 6 h. du soir, brouillard le soir.
11, brouillard le matin, pluie depuis 4 h. 30 du soir et dans la nuit.
12, pluie à 7 h. du matin depuis 6 h. du soir et dans la nuit.
13, pluie depuis 9 h. du soir et dans la nuit.
14, pluie de 9 h. du matin à 1 h. du soir et de 7 h. à 10 h., pluie dans la nuit, orage à 7 h. 35 du soir.
15, petite pluie le matin et le soir.
16, pluie depuis 9 h. 45 du soir et dans la nuit.
17, gelée blanche le soir.
18, gelée blanche et brouillard le matin, pluie dans la nuit.
20, pluie de midi à 9 h. du soir.
22, gelée blanche matin et soir.
23, gelée blanche le matin.
les 24 et 25, violente bise.
le 26, gelée blanche le soir.
27, gelée blanche matin et soir, pluie dans la nuit.
28, pluie de 7 h. du matin à 9 h. du soir ; pluie dans la nuit.
29, pluie de 5 h. 30 à 6 h. 30 et de 9 h. à 10 h. du soir, pluie et neige dans la nuit.
31, neige dans la nuit.

GENÈVE — DÉCEMBRE 1914

Jour du mois	Température 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 8 Observ.	Ecart avec la normale	Min.	Max.	Fraction de Saturation en % 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 8 Obs.	Ecart av. la norm.	Min.	Max.	Tempér. du Rhône Midi	Ecart avec la normale	Limnimètre
	°	°	°	°	°	°	°								°	°	mm.
1	+ 5.6	+12.1	+ 9.7	+ 7.95	+ 5.70	+ 1.4	+12.6	51	36	50	55	-30	**33**	75	7.7	- 0.2	1610
2	5.8	11.2	8.0	9.39	+ 7.27	4.5	14.0	63	48	61	**54**	**-31**	44	65	8.0	+ 0.2	1615
3	6.6	12.3	6.2	8.30	+ 6.30	4.3	12.3	57	37	88	62	-23	35	92	7.8	+ 0.1	1635
4	0.8	3.0	2.4	2.13	+ 0.25	0.3	8.3	100	97	98	97	+12	81	100	8.0	+ 0.4	1620
5	8.1	10.8	8.0	9.10	+ 7.34	2.2	11.3	76	57	78	70	-15	54	83	7.5	0.0	1625
6	8.9	14.0	9.2	9.62	+ 7.97	6.8	14.0	77	57	71	75	-10	56	86	—	—	1605
7	9.4	16.4	13.7	11.80	+10.26	9.4	**17.8**	86	56	56	73	-12	52	90	7.8	+ 0.5	1615
8	12.1	17.6	9.4	**13.30**	**+11.87**	7.6	17.6	73	55	86	70	-15	53	93	8.0	+ 0.8	1575
9	4.1	6.4	4.1	5.10	+ 3.78	+ 3.0	8.7	100	100	100	**99**	**+13**	93	100	7.8	+ 0.6	1590
10	5.5	4.8	1.6	4.05	+ 2.83	- 0.3	7.8	98	95	96	97	+11	93	100	7.6	+ 0.5	1600
11	0.1	1.9	2.6	1.44	+ 0.32	- 1.0	3.0	99	96	96	96	+10	94	100	7.5	+ 0.5	1640
12	4.6	9.3	6.0	5.88	+ 4.86	+ 2.2	12.3	98	81	88	93	+ 7	78	98	7.5	+ 0.6	1655
13	2.2	6.2	4.9	4.89	+ 3.96	1.0	7.2	93	76	86	83	- 3	74	93	—	—	1665
14	4.2	3.4	3.4	3.89	+ 3.05	2.0	5.4	97	100	99	97	+11	93	100	7.5	+ 0.8	1635
15	6.3	10.2	7.0	7.56	+ 6.81	3.9	10.2	73	52	67	67	-19	52	95	7.7	+ 1.1	1725
16	6.2	8.0	5.0	6.17	+ 5.50	+ 3.8	9.2	65	61	70	69	-17	53	99	7.5	+ 1.0	1730
17	+ 3.0	6.6	+ 0.8	3.61	+ 3.02	- 0.7	6.6	95	61	90	85	- 1	60	96	7.3	+ 0.8	1715
18	- 1.0	2.0	- 0.2	0.09	- 0.42	- 2.5	2.3	84	65	96	84	- 2	64	96	7.0	+ 0.6	1695
19	+ 4.5	11.0	+ 5.1	6.00	+ 5.56	+ 2.2	11.0	80	53	70	71	-15	50	89	7.2	+ 0.9	1695
20	5.4	8.8	4.8	6.31	+ 5.94	3.0	10.5	63	62	87	72	-14	54	96	—	—	1645
21	+ 4.9	6.7	+ 2.7	4.47	+ 4.17	+ 1.3	8.0	70	52	74	69	-17	50	90	7.0	+ 0.8	1715
22	- 1.5	2.6	- 0.2	0.55	+ 0.31	- 2.2	4.2	83	72	90	83	- 3	68	93	7.0	+ 0.9	1675
23	- 1.8	+ 2.3	- 0.2	0.08	- 0.10	- 3.0	3.3	96	60	90	85	- 1	60	96	6.7	+ 0.7	1695
24	- 0.6	0.0	+ 2.0	0.45	+ 0.33	- 1.5	2.2	80	75	75	78	- 8	70	86	6.5	+ 0.5	1700
25	+ 1.6	+ 2.2	+ 1.5	1.69	+ 1.62	+ 0.3	2.4	92	60	74	80	- 6	58	93	—	—	1675
26	- 0.4	5.5	- 0.9	+ 1.23	+ 1.21	- 2.2	6.3	90	52	94	82	- 4	50	98	6.3	+ 0.5	1665
27	- 2.8	3.0	+ 0.4	- 0.04	- 0.01	- 3.5	4.7	92	66	86	75	-11	61	92	—	—	1655
28	+ 0.8	4.8	8.6	+ 3.61	+ 3.68	- 0.6	8.6	92	97	77	91	+ 5	76	98	7.0	+ 1.3	1655
29	3.8	6.5	+ 1.9	4.79	+ 4.90	+ 1.0	9.7	93	52	91	78	- 9	50	95	6.7	+ 1.0	1625
30	+ 0.4	+ 7.0	- 1.4	+ 1.70	+ 1.85	- 2.3	7.0	92	60	84	80	- 7	57	97	6.7	+ 1.1	1630
31	- 3.2	- 0.2	- 0.3	**- 1.49**	**- 1.31**	**- 4.0**	+ 0.7	100	85	94	93	+ 7	83	100	6.3	+ 0.8	1655
Mois	+ 3.34	+ 6.98	+ 4.06	+ 4.63	+ 3.83	+ 1.17	+ 8.36	84	67	83	80	- 6			7.29	+ 0.68	1653

GENÈVE — DÉCEMBRE 1914

Jour du mois	Pression atmosphérique 700mm + 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 8 Obs.	Ecart av. la norm.	Barographe Min.	Max.	Vent 7 h.	1 h.	9 h.	Dominant	Vit. moy. kil. h.	Nébulosité 7 h.	1 h.	9 h.	Moy. 6 obs.	Durée d'insolation	Pluie Hauteur 24 h.	Nombre d'heures
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm										h.	mm.	
1	32.8	33.0	34.5	33.37	+ 6.63	32.4	35.3	S. 1	SSW. 1	SSW. 2	SSW. 1	12.7	5	8	9	8	3.7	....	....
2	36.2	35.1	33.7	**35.18**	+ **8.40**	33.3	36.7	NE. 1	NNW. 1	SSW. 1	SSW. 1	6.9	1	0	0	0	6.7	....	....
3	32.3	33.5	37.3	34.38	+ 7.56	32.0	**37.3**	SSW. 1	SSW. 2	NNE. 1	SSW. 1	11.8	7	10	9	9	2.6	2.6	5
4	34.4	31.1	29.2	32.35	+ 5.49	28.8	36.8	SSE. 0	SE. 0	NE. 0	calme	1.3	10	10	9	9	0.0	1.0	2
5	27.3	26.8	23.8	26.43	- 0.47	22.5	28.8	NNW. 0	SW. 3	SW. 1	SSW. 1	9.6	9	8	10	9	1.8	4.0	4
6	24.6	26.5	27.1	25.47	- 1.47	22.3	27.4	S. 2	SE. 1	NNW. 0	SSW. 1	8.4	7	2	10	5	4.7	2.8	3
7	28.6	27.9	26.6	27.66	+ 0.68	26.2	28.8	NNW. 1	SSW. 1	SSW. 1	var.	6.9	10	1	1	3	6.7	....	....
8	26.7	26.8	26.0	26.67	- 0.35	25.3	28.3	SSW. 1	SSW. 1	NE. 1	SSW. 1	8.6	0	1	0	0	**7.4**	....	....
9	22.5	18.8	17.0	20.38	- 6.68	16.8	25.3	SW. 1	NE. 1	SE. 1	calme	0.6	10	10	10	10	0.0	4.2	4
10	18.6	21.1	23.7	20.68	- 6.42	17.3	23.7	NE. 1	SE. 0	SSW. 0	calme	0.4	10	10	0	10	0.0	11.2	11
11	22.6	21.0	18.9	21.17	- 5.97	16.9	23.5	SW. 1	SE. 1	SE. 1	calme	0.7	10	10	10	10	0.0	18.2	**15**
12	16.0	14.5	14.5	15.37	-11.81	13.6	17.2	N. 1	SSW. 1	SSW. 1	NNE. 1	4.2	10	8	10	9	1.1	14.7	11
13	16.4	13.8	11.5	14.27	-12.95	10.7	16.5	SSE. 1	NNE. 1	NNE. 1	NNE. 1	2.9	0	9	10	7	4.8	11.7	10
14	9.5	9.9	11.2	**10.09**	**-17.17**	**9.2**	12.6	SW. 1	ENE. 1	SSW. 1	SSW. 1	3.6	10	10	10	10	0.0	**39.6**	14
15	16.0	17.8	21.7	17.60	- 9.70	12.6	23.5	SSW. 1	SSW. 2	SSW. 2	SSW. 1	8.1	2	7	5	7	2.3	0.1	1
16	25.0	26.1	29.2	26.25	- 1.09	23.5	30.6	SSW. 2	SSW. 2	SSE. 0	SSW. 1	9.2	9	9	9	7	1.5	3.2	3
17	33.3	33.9	33.8	33.38	+ 6.01	30.6	34.8	SSE. 1	NNE. 1	SSW. 1	var.	2.1	9	9	0	6	1.8	.	....
18	31.7	30.1	26.9	30.26	+ 2.85	26.6	33.6	SSW. 1	SE. 1	SSE. 1	calme	0.8	9	10	0	5	0.0	1.6	2
19	27.3	27.8	24.2	26.78	- 0.67	23.4	28.5	SSW. 1	SSW. 1	NNE. 1	SSW. 1	7.5	8	4	0	7	5.7	....	...
20	19.0	17.1	19.6	19.16	- 8.32	16.4	23.4	E. 1	SW. 1	NW. 1	SW. 1	3.4	9	10	9	8	0.8	17.6	9
21	21.0	21.2	22.9	21.50	- 6.02	20.2	23.1	SSW. 1	SSW. 2	NE. 1	SSW. 1	4.2	9	3	8	4	6.1	....	....
22	23.1	22.4	21.2	22.53	- 5.03	20.6	23.5	SW. 1	N. 1	SE. 1	calme	1.3	0	7	5	5	2.7	....	....
23	18.1	17.3	18.6	18.44	- 9.15	17.0	20.6	SE. 1	NNW. 1	E. 1	var.	2.1	4	1	9	6	3.8	....	...
24	20.5	21.7	23.8	21.51	- 6.11	19.1	24.1	NNE. 1	NNE. 2	NNE. 3	NNE. 2	**22.9**	9	10	10	10	0.0	....	....
25	26.0	27.7	31.8	27.77	+ 0.12	24.0	32.7	NNE. 2	NNE. 2	NNE. 1	NNE. 2	22.5	10	10	10	10	0.0	....	....
26	33.9	34.6	34.9	34.21	+ 6.53	32.7	35.3	SE. 1	SW. 1	SW. 1	calme	1.2	10	0	0	2	7.3	1.4	2
27	32.3	29.5	28.2	30.50	+ 2.79	26.7	33.4	SE. 1	NE. 0	SE. 1	calme	1.4	8	9	9	8	3.9	16.7	**15**
28	24.0	21.2	18.8	22.02	+ 5.71	18.5	26.7	W. 0	NE. 1	SW. 2	NE. 1	2.9	10	10	9	10	0.0	2.2	3
29	24.8	26.4	29.8	26.13	- 1.63	19.5	30.8	SSE. 1	SSW. 1	SSW. 1	SSW. 1	9.8	10	9	9	6	3.2	....	....
30	32.1	31.8	30.1	31.27	+ 3.49	28.4	33.2	W. 1	SSE. 1	SE. 1	calme	1.5	2	0	4	1	7.2	5.2	5
31	25.2	22.8	19.2	23.19	- 4.61	19.0	28.1	SSW. 1	SSW. 1	SSW. 1	SSW. 1	1.9	2	10	10	8	0.0	....	....
Mois	25.22	24.82	24.83	25.03	- 2.93							5.85	7.1	6.9	6.6	6.7	85.8	158.0	119

MOYENNES DE GENÈVE. — DÉCEMBRE 1914

Correction pour réduire la pression atmosphérique de Genève à la pesanteur normale : | 0mm.02. – Cette correction n'est pas appliquée dans les tableaux.

Pression atmosphérique : 700mm +

	1 h. m.	4 h. m.	7 h. m.	10 h. m.	1 h. s.	4 h. s.	7 h. s.	10 h. s.	Moyennes
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1re déc.	28.56	28 37	28 40	29.06	28.07	27 88	27.96	27.75	28.26
2e »	21 74	21.68	21.68	22 09	21.20	20.72	21 03	21.32	21.43
3e »	25.28	25 34	25.54	26 04	25.14	25.13	25.21	25.28	25.36
Mois	25.20	25.14	25.22	25.74	24.82	24 59	24.75	24.80	25.03

Température.

	1 h. m.	4 h. m.	7 h. m.	10 h. m.	1 h. s.	4 h. s.	7 h. s.	10 h. s.	Moyennes
	°	°	°	°	°	°	°	°	°
1re déc	+ 7.23	+ 7.26	+ 6 69	+ 8.52	+10 86	+ 9.33	+ 7.75	+ 6.95	+ 8 07
2e »	3.82	3 81	3.55	5.24	6 74	5.43	4.48	3.60	4.58
3e »	0.92	0.76	0.11	1.50	3.67	2.86	1.38	1.18	1.55
Mois	+ 3.89	+ 3.84	+ 3.34	+ 4.97	+ 6.98	+ 5.78	+ 4.44	+ 3.82	+ 4.63

Fraction de saturation en %.

	1 h. m.	4 h. m.	7 h. m.	10 h. m.	1 h. s.	4 h. s.	7 h. s.	10 h. s.	Moyennes
1re décade	78	79	78	72	64	73	77	81	75
2e »	85	84	85	80	71	80	82	87	82
3e »	87	88	89	81	66	73	86	87	82
Mois	84	84	84	78	67	75	82	85	80

Dans ce mois l'air a été calme 151 fois sur 1000.

Le rapport des vents $\frac{\text{NNE}}{\text{SSW}} = \frac{45}{94} = 0.48$

Moyennes des 3 observations (7h, 1h, 9h)

	mm
Pression atmosphérique.....	24.96
Nébulosité	6.9
Température $\frac{7+1+9}{3}$ ..	+ 4°.79
Température $\frac{7+1+2\times9}{4}$ ..	+ 4°.61
Fraction de saturation.....	78 %

Valeurs normales du mois pour les éléments météorologiques, d'après Plantamour :

		mm
Press. atmosphér..	(1836-1875)	727.96
Nébulosité..	(1847-1875).	8.3
Hauteur de pluie..	(1826-1875).	51mm.0
Nombre de jours de pluie.	(id.).	9
Température moyenne...	(id.).	+ 0°.80
Fraction de saturat.	(1849-1875).	86 %

Observations météorologiques faites dans le canton de Genève

Résultats des observations pluviométriques

Station	CÉLIGNY	COLLEX	CHAMBÉSY	CHATELAINE	SATIGNY	ATHENAZ	COMPESIÈRES
Hauteur d'eau en mm.	176.4	162.0	153.5	?	168.8	142.3	149.6

Station	VEYRIER	OBSERVATOIRE	COLOGNY	PUPLINGE	JUSSY	HERMANCE
Hauteur d'eau en mm.	128.3	158.0	142.7	?	155 4	157.8

Insolation à Jussy : 54.3 h.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES AU

GRAND SAINT-BERNARD

PENDANT LE MOIS

DE DÉCEMBRE 1914

Les 4, 9, 10, 12, 17 et 29, brouillard.
5, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 25, 28 et 29, neige.
9, 12, 14 et 31, très fort vent.
11 et 29, très forte bise.

Jour du mois	Pression atmosphérique 500mm + 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 3 Obs.	Ecart av. la norm.	Barographe Min.	Max.	Vent 7 h.	1 h.	9 h.	Dominant	Nébulosité 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 3 Obs.	Pluie Hauteur (24 h.)	Neige Hauteur (24 h.)
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm									mm.	cm.
1	70 6	70 6	71.1	70.8	+ 8.9	70.4	71.4	NE. 1	SW. 1	SW. 1	SW. 1	3	7	5	5	...	....
2	71.5	71.3	71.7	**71.5**	+ **9.6**	71.2	**71.7**	NE. 0	NE. 0	SW. 1	NE. 0	2	0	0	1	....	....
3	70.0	69.0	70.2	69.7	+ 7.8	68.8	71.1	SW. 1	SW. 1	NE. 1	SW. 1	0	1	8	3	....	....
4	69.1	67 6	66.0	67.6	+ 5.7	65.1	70.2	NE. 1	SW. 2	SW. 2	SW. 2	0	8	10	6	....	...
5	64.3	63.4	62.5	63.4	+ 1.5	61.4	65.1	NE. 0	SW. 1	SW 1	SW. 1	2	10	10	7	8.2	15
6	60.8	64.0	65.2	63.3	+ 1.5	60.5	65.5	NE. 0	NE. 1	NE. 1	NE. 1	3	2	1	2	....	....
7	67.5	67.0	68.4	68.0	+ 6 2	65 5	68.6	SW. 1	SW. 2	NE. 1	SW. 1	10	3	0	4	...	....
8	67.4	66.8	66.5	66.9	+ 5.1	66.2	68.3	SW. 2	SW. 1	SW. 1	SW. 1	2	0	0	1	....	...
9	64.4	61.8	58.8	61.7	- 0.1	58.2	66.2	SW. 2	SW. 5	SW. 5	SW. 4	10	10	10	10	8 0	10
10	56.1	55.8	58.0	56.6	- 5.2	55.6	58.2	SW. 2	NE. 2	NE. 1	NE. 1	10	10	10	10	9.0	10
11	57.5	56.4	58.2	57.4	- 4.3	56.4	58.2	NE. 1	NE. 2	NE 3	NE. 2	2	3	10	5	11.4	11
12	55.3	54.3	53.4	54.3	- 7.4	53.4	57.4	SW. 3	SW. 2	SW. 1	SW. 2	10	10	4	8	12.6	15
13	54.1	54.1	54.0	54.1	- 7.6	53.7	54.3	NE. 1	NE. 1	SW. 3	NE. 1	0	8	10	6	5.0	11
14	52.0	50.1	50.4	**50.8**	**- 10.9**	**49.8**	53.7	SW. 4	SW. 4	NE. 2	SW. 4	10	10	10	10	**21.8**	20
15	53 3	54.8	57.5	55.2	- 6.5	50.8	58.0	NE. 1	SW. 1	SW. 1	SW. 1	10	10	10	10	20.5	**25**
16	59.6	60.5	61 8	60.6	- 1.0	58.0	62.3	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	10	2	10	7	8.7	19
17	64.5	65.4	64.8	64.9	+ 3.3	62.3	65.7	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	10	10	0	7	3.2	6
18	65.0	64.3	62.6	64.0	+ 2.4	62.1	65.1	SW. 1	SW. 1	NE. 1	SW. 1	1	9	0	3	.. .	....
19	61.6	62.6	62.6	62.3	+ 0.7	61.5	62.8	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	10	1	0	4	5.7	10
20	59.7	57.1	55.5	57.4	- 4.2	55.2	62.1	SW. 2	SW. 2	SW. 1	SW. 2	10	10	2	7	11.3	17
21	56.0	56.0	57.1	56.4	- 5.2	55.8	57.1	SW. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	2	0	0	1	....	....
22	57.2	56.6	55.5	56.4	- 5.1	54.8	57.5	SW. 1	SW. 0	SW. 1	SW. 1	0	0	3	1	...	....
23	52.4	51 6	52 8	52 3	- 9.2	51.4	54.8	NE. 0	NE. 1	NE. 1	NE. 1	0	0	0	0	...	....
24	53.8	55.2	57 1	55.4	- 6.1	53 0	57.4	SW. 1	SW. 0	SW. 1	SW. 1	10	5	3	6	....	....
25	58.7	60.8	64.3	61.3	- 0.2	57.4	65.0	SW. 1	SW. 1	SW. 1	SW. 1	10	9	1	7	0.7	1
26	66.5	66.4	67.8	66.9	+ 5.4	65.0	68 0	NE. 1	SW. 0	NE. 1	NE. 1	0	0	0	0	....	....
27	66.1	65 2	64.1	65.2	+ 3.7	64.2	67.4	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	1	2	6	3	.. .	....
28	62.3	61.0	59.7	61.5	+ 0.1	59.2	64.2	SW. 1	SW. 1	NE. 1	SW. 1	10	10	10	10	9.6	9
29	58.3	59.0	61.3	59.5	- 1.9	58.1	61.7	NE. 2	NE. 3	NE. 3	NE. 3	10	10	10	10	10.2	13
30	62.6	63 4	63.2	63.1	+ 1.7	61.7	63.6	NE 1	NE. 0	SW. 3	var.	10	0	0	3	....	....
31	61.5	60.2	58.1	59.9	- 1.5	57.8	63.0	SW. 3	SW. 1	SW. 3	SW. 2	8	10	10	9	....	...
Mois	61 31	61.04	61 31	61.22	- 1.10							5.7	5.5	4.9	5.4	145.9	192

GRAND SAINT-BERNARD — DÉCEMBRE 1914

Jour du mois	Température							Fraction de saturation en %					
	7 heures	1 heure	9 heures	Moyenne 3 Observ.	Ecart avec la normale	Minimum	Maximum	7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 3 Obs.	Min.	Max.
	°	°	°	°	°	°	°						
1	+ 0.3	+ 1.8	+ 0.1	+ **0.7**	+ **7.4**	- 1.4	+ **2.5**	19	17	21	**19**	17	32
2	- 1.9	- 2.0	- 6.0	- 3.3	+ 3.5	- 6.2	+ 0.6	20	25	43	29	15	50
3	- 6.3	- 5.5	- 5.6	- 5.8	+ 1.1	- 6.4	- 0 4	47	37	83	56	33	83
4	- 7.5	- 7.2	- 9.0	- 7.9	- 0.9	- 9.0	- 6.0	72	79	90	80	67	92
5	- 7.1	- 4.4	- 5.3	- 5.6	+ 1.4	- 8.8	- 3.6	88	83	76	82	65	90
6	- 5.3	- 2.6	- 1.4	- 3.1	+ 4.0	- 7.1	- 1.0	85	37	11	44	**10**	87
7	- 0.8	+ 2.3	- 1.1	+ 0.1	+ 7.3	- 2.0	+ 2.5	75	52	67	65	44	84
8	- 2.7	- 2.3	- 3.4	- 2 8	+ 4.5	- 4.7	- 0.7	70	76	70	72	63	82
9	- 4.7	- 3.6	- 3.8	- 4.0	+ 3.4	- 4.8	- 3.0	87	87	88	**87**	85	90
10	- 4.7	- 3.7	- 7.0	- 5.1	+ 2.3	- 8.0	- 3.5	87	87	85	86	81	88
11	- 10.7	- 8.8	- 9.4	- 9.6	- 2.1	- 11.0	- 7.7	84	82	82	83	80	86
12	- 7.2	- 6.6	- 7.2	- 7.0	+ 0.6	- 8.8	- 6.3	83	83	83	83	82	83
13	- 10.7	- 8.2	- 8.5	- 9.1	- 1.5	- 11.4	- 7.6	79	75	83	79	70	83
14	- 8.2	- 7.1	- 6.4	- 7.2	+ 0.5	- 8.6	- 6.0	83	82	83	83	80	83
15	- 6.8	- 4.7	- 7.8	- 6.4	+ 1.4	- 8.0	- 4.4	83	83	81	82	80	83
16	- 9.2	- 7.2	- 7.2	- 7.9	- 0.1	- 9.4	- 7.0	81	77	82	80	72	85
17	- 9.4	- 8.7	- 11.9	- 10.0	- 2.1	- 12.6	- 6.7	84	85	73	81	60	87
18	- 10.4	- 9.2	- 8.8	- 9 5	- 1.5	- 11.8	- 8.0	58	50	62	57	48	80
19	- 6.9	- 6.8	- 7.6	- 7.1	+ 0.9	- 8.0	- 6.1	84	71	28	61	25	84
20	- 11.4	- 10.2	- 9.1	- 10.2	- 2.1	- 11.7	- 8.6	84	84	85	84	25	86
21	- 11.4	- 9.8	- 13.2	- 11.5	- 3 4	- 13.4	- 8.7	74	73	62	70	58	82
22	- 14.0	- 11.6	- 13 2	- 12.9	- 4.7	- 14.4	- 11.0	54	41	31	42	27	62
23	- 15.0	- 12.7	- 14.2	- **14.0**	- **5.8**	- **15.8**	- 11.8	43	52	50	48	35	58
24	- 13.0	- 11.6	- 10.5	- 11.7	- 3.4	- 15.6	- 9.8	52	55	82	63	50	82
25	- 7.2	- 6.8	- 9.8	- 7.9	+ 0.4	- 10.0	- 6.5	79	82	81	81	72	88
26	- 10.1	- 6.2	- 8.1	- 8.1	+ 0.3	- 11.0	- 6.0	76	72	59	69	14	86
27	- 7.2	- 1 5	- 4.6	- 4.4	+ 4.0	- 8.3	- 1.1	42	52	63	52	18	65
28	- 2.2	- 0.7	- 0.6	- 1.2	+ 7.2	- 3.2	+ 0 3	79	87	90	85	52	92
29	- 7.3	- 9.3	- 12.2	- 9.6	- 1.1	- 12.5	0.0	89	87	83	86	81	**93**
30	- 13.2	- 12.4	- 12.5	- 12.7	- 4.2	- 13.6	- 11.8	83	81	62	75	62	85
31	- 14.1	- 12.5	- 11.5	- 12.7	- 4.1	- 14.4	- 11.0	61	61	80	67	56	82
Mois	- 7.95	- 6.45	- 7.64	- 7.35	+ 0.24	- 9.42	- 5.14	70	68	68	69		

MOYENNES DU GRAND SAINT-BERNARD — DÉCEMBRE 1914

Correction pour réduire la pression atmosphérique du Grand Saint-Bernard à la pesanteur normale : — 0mm.22. — Cette correction n'est pas appliquée dans les tableaux.

	Pression atmosphérique : 500mm +				**Fraction de saturation en %**			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
	mm	mm	mm	mm				
1re décade	66.27	65.73	65.84	65.95	65	58	63	62
2e »	58.26	57.96	58.08	58.10	80	77	74	77
3e »	59.58	59.58	60.12	59.76	67	68	68	68
Mois	61.31	61.03	61.31	61.22	70	68	68	69

Température.

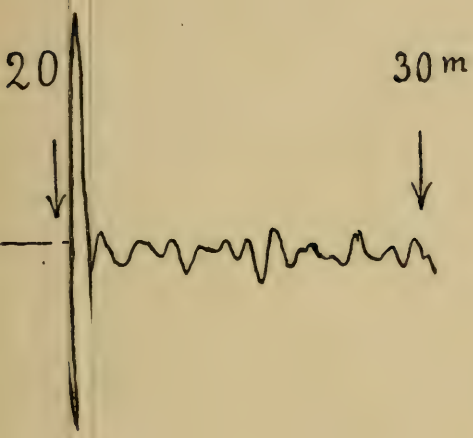
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne. $\frac{7+1+9}{3}$	Moyenne. $\frac{7+1+2\times 9}{4}$
	°	°	°	°	°
1re décade	— 4.07	— 2.72	— 4.25	— 3.68	— 3.82
2e »	— 9.09	— 7.75	— 8.39	— 8.41	— 8.40
3e »	— 10.43	— 8.65	— 10.04	— 9.71	— 9.79
Mois	— 7.95	— 6.45	— 7.64	— 7.35	— 7.42

Dans ce mois l'air a été calme 97 fois sur 1000

Le rapport des vents $\frac{NE}{SW} = \frac{49}{78} = 0.63$

Pluie et neige dans le Val d'Entremont.

Station	Martigny-Ville	Orsières	Bourg-St-Pierre	St-Bernard
Eau en millimètres.....	61.1	39.8	31.6	145.9
Neige en centimètres....	—	—	28	192



ue
ıp.

En
m

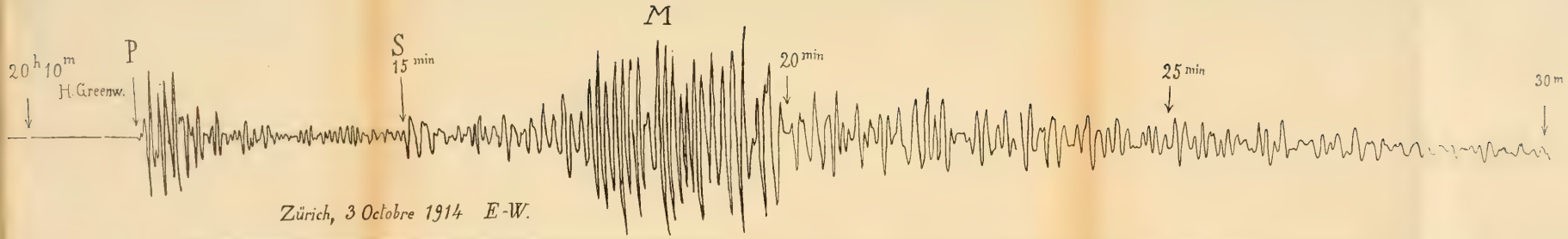


Fig. 1. — *Sismogramme du tremblement de terre du 3 octobre 1914, en Asie mineure.* Enregistré à l'*Observatoire sismologique suisse à Zurich*, par la composante E-W du sismographe Bosch-Mainka. — Période du maximum 8 sec.; amplitude totale maximum 0.73 mm. coordonnées du foyer, tirées du sismographe : E 15° S, 2200 km. Coordonnées vraies : E 22° S 2100 km.

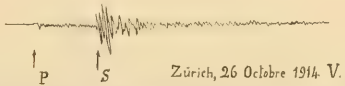


Fig. 2. — *Sismogramme du tremblement de terre du 26 octobre 1914, région de Turin*, à 260 km. de distance. Enregistré à Zurich par la composante verticale du sismographe Spindler & Hoyer-Wiechert. — Période du maximum 2.5 sec. amplitude totale maximum 0.15 mm. Durée de S — P = 32 sec. — Ressenti à Zurich.

LA GÉOMÉTRIE

DES

FEUILLETS « COTÉS »

PAR

René DE SAUSSURE

(Suite [1]*)*

III. — La bicouronne

Suivant la première définition que nous en avons donnée, *la bicouronne est le lieu des feuillets communs à 5 hexacouronnes.* Mais cette définition ne nous apprend rien sur la forme et les propriétés de la bicouronne.

Mieux vaut partir de la définition générale des polycouronnes, donnée à la fin du paragraphe précédent, définition d'après laquelle : *la bicouronne est une bisérie de feuillets cotés telle que si l'on joint 2 feuillets quelconques de cette bisérie par une monocouronne, celle-ci est située tout entière dans la bisérie.*

Cette définition va nous permettre de faire dériver la bicouronne du bifaisceau, comme nous avons fait dériver la monocouronne du monofaisceau ; en d'autres termes : *on peut engendrer une bicouronne au moyen d'un feuillet $F(\mathrm{f})$ qui se déplace en restant symétrique d'un feuillet fixe F_0 par rapport aux différentes génératrices d'un bifaisceau de droites cotées $G(\mathrm{g})$.*

En effet, le bifaisceau est un système de droites cotées qui

[1]) Voir *Archives*, 1915, t. XXXIX, p. 5.

jouit précisément de la propriété voulue, puisque, si l'on joint deux génératrices quelconques d'un bifaisceau au moyen d'un monofaisceau, celui-ci fait lui-même partie du bifaisceau[1].

Considérons donc un feuillet fixe F_0 et un bifaisceau de droites cotées $G(g)$, et construisons tous les feuillets $F(f)$ symétriques de F_0 par rapport aux différentes droites $G(g)$: je dis que les feuillets $F(f)$ forment une bicouronne. En effet, ces feuillets forment une bisérie. De plus, soient $F_1(f_1)$ et $F_2(f_2)$ deux feuillets quelconques de cette bisérie, et soient $G_1(g_1)$ et $G_2(g_2)$ les droites correspondantes du bifaisceau; nous savons que le monofaisceau $[G_1(g_1), G_2(g_2)]$ fait partie du bifaisceau; donc, les feuillets $F(f)$ symétriques de F_0 par rapport aux génératrices de ce monofaisceau forment une monocouronne qui contient les feuillets $F_1(f_1)$ et $F_2(f_2)$, et qui est située dans la bisérie des feuillets $F(f)$; cette bisérie est donc une bicouronne. (C.Q.F.D.)

De ce mode de construction de la bicouronne il résulte que l'on pourra déduire la plupart des propriétés de la bicouronne de propriétés correspondantes du bifaisceau, lesquelles sont supposées connues.

Cas particulier. — Lorsque toutes les droites $G(g)$ du bifaisceau générateur ont une cote nulle (ou plus généralement une cote constante), ce bifaisceau se réduit à un système de droites passant par un même point (*gerbe de droites*) ou situées dans un même plan. *La bicouronne se réduit alors à un couronoïde* et cette remarque est très importante, car elle nous montre que le couronoïde n'est qu'un cas particulier de la bicouronne[2], comme la couronne n'est qu'un cas particulier de

[1]) Ball a démontré cette proposition sous une autre forme: (*Theory of Screws*, p. 125), il a montré que « toutes les génératrices d'un bifaisceau qui sont parallèles à un même plan, forment un monofaisceau ». Cet énoncé se ramène au nôtre, puisqu'il existe toujours un plan parallèle à 2 génératrices quelconques du bifaisceau.

[2]) Le *couronoïde* (voir *Arch.*, t. 00, p. 00) est le lieu des feuillets F symétriques d'un feuillet fixe F_0 par rapport aux différents plans d'une gerbe; mais l'on peut, dans cette définition, remplacer les *plans* de la gerbe par les *droites* de la gerbe. En effet, si O est le centre de la gerbe et F'_0 le feuillet symétrique de F_0 par rapport au point O, enfin

la monocouronne. Nous allons voir en effet que toutes les propriétés du couronoïde se retrouvent dans la bicouronne et s'y retrouvent avec un plus grand degré de généralité, puisque la bicouronne est une forme plus générale que le couronoïde. Ainsi, par exemple, nous avons vu que « 3 feuillets déterminent un couronoïde », mais cet énoncé suppose que les 3 feuillets sont également situés par rapport à un point O, puisque le couronoïde est un système qui peut être engendré par le déplacement d'un feuillet F *autour d'un point fixe* (ou *parallèlement à un plan*). Au contraire, avec la bicouronne. aucune restriction n'est plus nécessaire, et nous pouvons établir la proposition suivante :

Théorème VIII. — *Par 3 feuillets cotés* $F_1(f_1)$, $F_2(f_2)$, $F_3(f_3)$, *situés d'une manière quelconque dans l'espace, on peut faire passer une bicouronne, et on n'en peut faire passer qu'une seule.*

Rappelons d'abord, qu'étant donnés 3 corps égaux C_1, C_2, C_3, situés d'une manière quelconque dans l'espace, il existe un corps C_0 et un seul qui soit respectivement symétrique des corps C_1, C_2, C_3, par rapport à 3 droites G_1, G_2, G_3, convenablement choisies.

D'autre part, nous avons dit que deux corps sont *contraires* lorsqu'ils sont symétriques l'un de l'autre par rapport à une droite. On peut donc dire qu'*il existe un corps C_0 et un seul qui soit contraire de 3 corps donnés C_1, C_2, C_3.*

Ceci posé, revenons à notre théorème : construisons le feuillet F_0 contraire des 3 feuillets donnés F_1, F_2, F_3, et soient G_1, G_2, G_3, les droites de symétrie entre le feuillet F_0 et chacun des feuillets F_1, F_2, F_3 ; attribuons aux droites G_1, G_2, G_3 des cotes g_1, g_2, g_3 respectivement égales à la moitié des cotes données f_1, f_2, f_3 ; nous obtenons ainsi

si Z est un plan quelconque de la gerbe et G la droite perpendiculaire en O au plan Z, on voit immédiatement que le feuillet F symétrique de F_0 par rapport au plan Z est aussi symétrique de F'_0 par rapport à la droite G. Lorsque le plan Z décrit la gerbe, la droite G décrit aussi une gerbe et le feuillet F'_0 reste fixe puisque le feuillet F_0 et le point O sont tous deux fixes. Donc, un couronoïde peut être défini, soit par le feuillet F_0 et les plans d'une gerbe, soit par le feuillet F'_0 et les droites d'une gerbe.

3 droites cotées $G_1(g_1)$, $G_2(g_2)$, $G_3(g_3)$, qui déterminent un bifaisceau[1]. Si maintenant l'on construit tous les feuillets F(f) symétriques du feuillet F_0 par rapport aux différentes génératrices G(*g*) de ce bifaisceau, on obtiendra une bicouronne passant par les 3 feuillets donnés, et l'on voit que le problème n'a qu'une solution.

Remarque 1. — La bicouronne ainsi construite est bien complètement déterminée, c'est-à-dire que non seulement les feuillets F, mais aussi la cote *f* de chaque feuillet est déterminée. En effet, cette cote *f* est le double de la cote *g* de la génératrice correspondante G du bifaisceau, et toutes les cotes *g* sont connues, dès que l'on connaît 3 d'entre elles (voir plus loin la loi de distribution des cotes dans un bifaisceau).

Le théorème VIII que nous venons de démontrer nous montre que la bicouronne est une forme complète : c'est la forme la plus générale à 2 paramètres, tandis que le couronoïde n'est qu'une forme particulière ; cette forme particulière a tout de même une grande importance : c'est la forme générale des déplacements à 2 paramètres autour d'un point fixe (ou parallèlement à un plan fixe).

Remarque 2. — Nous avons vu au chapitre précédent qu'il y a une infinité (∞^2) de manières d'engendrer une monocouronne par symétrie au moyen d'un feuillet fixe F_0 et d'un monofaisceau. Ceci tient au fait qu'une monocouronne est déterminée par 2 feuillets et qu'il existe une infinité (∞^2) de feuillets F_0 contraires de 2 feuillets donnés. Mais comme il faut 3 feuillets pour déterminer une bicouronne, et comme il n'existe qu'un feuillet F_0 contraire de 3 feuillets donnés, on voit qu'*il n'y a qu'une seule manière d'engendrer une bicouronne par symétrie au moyen d'un feuillet fixe F_0 et d'un bifaisceau de droites cotées.* On peut dire que le feuillet F_0 est le *feuillet contraire de la bicouronne,* car il est contraire d'un feuillet quelconque pris dans la bicouronne.

[1]) Ball a montré en effet que 3 vis (ou droites cotées) déterminent un « screw-complex of the 3d order » (c'est-à dire un bifaisceau). Voir *Theory of Screws,* p. 117.

Théorème IX. — *Toute bicouronne contient une double infinité de monocouronnes.* En effet, cette propriété résulte immédiatement du fait que le bifaisceau générateur de la bicouronne contient une double infinité de monofaisceaux[1]. Lorsque le bifaisceau générateur se réduit à une gerbe, les monofaisceaux deviennent des faisceaux ordinaires, et l'on retrouve le théorème connu : « tout couronoïde contient une double infinité de couronnes ».

Théorème X. — *Par chaque feuillet d'une bicouronne passent une infinité* (∞^1) *de monocouronnes, contenues dans la bicouronne; les axes de toutes ces monocouronnes forment un conoïde de Plücker.*

Cette proposition résulte aussi directement des propriétés du bifaisceau qui sert à engendrer la bicouronne : 1° « par chaque droite d'un bifaisceau passent une infinité (∞^1) de monofaisceaux, contenus dans le bifaisceau[2] » ; 2° « les axes de tous ces monofaisceaux forment un conoïde de Plücker »[3].

Le théorème est donc évident, puisque l'axe de chaque monocouronne coïncide avec l'axe de son monofaiscean générateur.

Lorsque le bifaisceau générateur se réduit à une gerbe de droites, tous les monofaisceaux deviennent de simples faisceaux, c'est-à-dire que la bicouronne devient un couronoïde et les monocouronnes se réduisent à des couronnes. On retrouve alors le théorème connu : « Par chaque feuillet d'un couronoïde passent une infinité (∞^1) de couronnes, contenues dans le couronoïde ; les axes de toutes ces couronnes forment un faisceau de droites ».

[1]) Nous avons vu que les génératrices d'un bifaisceau qui sont parallèles à un plan forment un monofaisceau.

[2]) En effet, par chaque droite d'un bifaisceau on peut faire passer une infinité de plans, et chacun de ces plans est le plan directeur d'un monofaisceau contenu dans le bifaisceau.

[3]) En effet, à tout bifaisceau A correspond un bifaisceau B, tel que les génératrices de A sont les axes des monofaisceaux contenus dans B, et réciproquement. Si donc on considère tous les monofaisceaux de B qui passent par une même génératrice, les axes de tous ces monofaisceaux sont perpendiculaires à cette génératrice, donc parallèles à un même plan ; et comme ces axes appartiennent au bifaisceau A, ils forment un conoïde de Plücker.

THÉORÈME XI. — *Deux monocouronnes situées dans la même bicouronne ont toujours un feuillet commun et un seul.* Cette propriété résulte évidemment du fait que 2 monofaisceaux, situés dans un même bifaisceau, ont toujours une droite commune et une seule[1].

THÉORÈME XII. — *Si un feuillet $\Phi(\varphi)$ est complémentaire de 3 feuillets donnés $F_1(f_1)$, $F_2(f_2)$, $F_3(f_3)$, il est aussi complémentaire de tout feuillet appartenant à la bicouronne déterminée par les 3 feuillets donnés.*

En effet, soit $F(f)$ un feuillet quelconque de cette bicouronne. Construisons les monocouronnes $[F(f), F_1(f_1)]$ et $[F_2(f_2), F_3(f_3)]$: ces deux monocouronnes, faisant partie de la bicouronne, ont un feuillet commun, que nous désignerons par $F_4(f_4)$. — Le feuillet $\Phi(\varphi)$ étant, par hypothèse, complémentaire des feuillets $F_2(f_2)$ et $F_3(f_3)$ sera complémentaire de tous les feuillets de la monocouronne $[F_2(f_2), F_3(f_3)]$, donc en particulier du feuillet $F_4(f_4)$. Mais alors, le feuillet $\Phi(\varphi)$, étant complémentaire de $F_4(f_4)$ et, par hypothèse, aussi de $F_1(f_1)$, sera complémentaire de tous les feuillets de la monocouronne $[F_1(f_1), F_4(f_4)]$, et par conséquent, du feuillet $F(f)$.

(C.Q.F.D.)

COROLLAIRE. — *Si dans une polycouronne* (tri-, tetra-, penta- ou hexacouronne), *on prend 3 feuillets quelconques, la bicouronne qui joint ces 3 feuillets sera située toute entière dans ladite polycouronne.*

Prenons par exemple 3 feuillets $F_1(f_1)$, $F_2(f_2)$, $F_3(f_3)$ dans une pentacouronne : nous avons vu qu'on peut définir la pentacouronne comme le lieu des feuillets complémentaires de 2 feuillets donnés $\Phi_1(\varphi_1)$ et $\Phi_2(\varphi_2)$. Puisque les feuillets $F_1(f_1)$, $F_2(f_2)$, $F_3(f_3)$ font partie de la pentacouronne, ces feuillets sont tous trois complémentaires des feuillets $\Phi_1(\varphi_1)$

[1] En effet, les plans directeurs des 2 monofaisceaux se coupent suivant une direction unique, et Ball a montré (*Theory of Screws*, p. 122) que dans tout bifaisceau il existe une génératrice et une seule qui soit parallèle à une direction donnée. La génératrice parallèle à l'intersection des 2 plans directeurs appartient aux 2 monofaisceaux et l'on voit qu'elle est unique.

et $\Phi_2(\varphi_2)$, donc, d'après le théorème XII, tous les feuillets de la bicouronne $[F_1(f_1), F_2(f_2), F_3(f_3)]$ sont aussi complémentaires de $\Phi_1(\varphi_1)$ et $\Phi_2(\varphi_2)$, c'est-à-dire que cette bicouronne fait partie de la pentacouronne. (C.Q.F.D.)

Définitions. — On sait qu'un feuillet se compose d'un point M, d'une droite D et d'un plan P, réunis de telle façon que chacun de ces trois éléments se trouve situé sur les deux autres. Lorsque le feuillet (MDP) décrit une bicouronne, le point M engendre une surface, que j'appellerai la *surface de base* de la bicouronne ; pendant ce temps le plan P enveloppe aussi une surface, que j'appellerai la *surface de gorge* de la bicouronne ; enfin la droite D engendre une congruence.

Propriétés de la surface de base. — 1° *On peut tracer sur cette surface une double infinité d'ellipses différentes;* ceci résulte du fait que la ligne de base d'une monocouronne est une ellipse et que, dans toute bicouronne, il y a une double infinité de monocouronnes, dont les ellipses de base sont évidemment situées sur la surface de base de la bicouronne ;

2° *Etant donnés 2 points quelconques M_1 et M_2 sur la surface de base, il existe toujours une ellipse joignant ces 2 points, et située entièrement sur cette surface:* en effet, il existe toujours une monocouronne, située dans la bicouronne, et joignant les 2 feuillets $(M_1 D_1 P_1)$ et $(M_2 D_2 P_2)$;

3° *La surface de base possède un point triple:* En effet, lorsqu'un point M se déplace en restant symétrique d'un point fixe M_0 par rapport aux diverses génératrices G d'une congruence, il décrit une surface qui contient le point M_0 puisqu'en ce point passe au moins une génératrice G ; en outre, cette génératrice est normale à la surface, car la droite G est toujours perpendiculaire sur le milieu du segment MM_0, et lorsque le point M se rapproche du point M_0, la ligne droite MM_0 tend vers la tangente à la surface ; celle-ci a donc, au point M_0 autant de normales qu'il y a de droites G, passant par M_0, c'est-à-dire que la surface, lieu du point M, possède plusieurs nappes se croisant au point M_0 et formant en ce point un point multiple dont l'ordre est égal au degré de la congruence des droites G. Or, comme les droites d'un bifaisceau forment

une congruence de Ball et qu'une telle congruence est du 3e degré[1], on voit que la surface de base d'une bicouronne possède au point M_0 un point triple, où se croisent 3 nappes de la surface; nous dirons que *le point M_0 est « l'antipôle » de la bicouronne.*

4° *Par l'antipôle d'une bicouronne passent 3 infinités* (∞^1) *de monocouronnes:* en effet, par le point M_0 passent 3 droites G du bifaisceau générateur de la bicouronne; or, par chacune de ces 3 droites G passent une infinité (∞^1) de monofaisceaux faisant partie du bifaisceau; à chacun de ces monofaisceaux correspond une monocouronne dont la base passe par M_0 puisque tous ces monofaisceaux ont une génératrice G qui passe par M_0. On voit donc qu'*il y a 3 infinités* (∞^1) *d'ellipses tracées sur la surface de base et qui se croisent à l'antipôle M_0.* Ces 3 séries d'ellipses correspondent évidemment aux 3 nappes de la surface.

Propriétés de la surface de gorge. — *La surface de gorge d'une bicouronne possède un plan tangent triple.*

En effet, lorsque le feuillet (M D P) décrit la bicouronne, en restant symétrique du feuillet fixe ($M_0 D_0 P_0$), par rapport aux droites G du bifaisceau générateur, le plan P reste tangent à la surface de gorge; en outre, comme les plans P et P_0 restent symétriques l'un de l'autre par rapport à la droite G, ces deux plans coïncideront toutes les fois que la droite mobile G deviendra perpendiculaire au plan fixe P_0; comme les droites d'un bifaisceau forment une congruence du 3e degré, on voit que le plan tangent P coïncidera 3 fois[2] avec le plan P_0, et que par conséquent, le plan P_0 est un plan tangent triple de la surface de gorge. Nous dirons que le plan P_0 est le *plan antipolaire* de la bicouronne.

Le lecteur se demandera peut être pourquoi j'emploie les termes de « antipôle », « plan antipolaire », au lieu des simples

[1]) Voir *Theory of Screws*, p. 122.

[2]) Les droites perpendiculaires à un plan P_0 passent par un même point à l'infini. Le nombre des droites d'une congruence, qui sont perpendiculaires au plan P_0 est donc égal au degré de cette congruence.

termes « pôle », « plan polaire ». La raison en est la suivante : nous avons vu qu'un couronoïde peut être défini, soit par un feuillet fixe ($M_0 D_0 P_0$) et une gerbe de droites, soit par un feuillet fixe ($m_0 d_0 p_0$) et une gerbe de plans ; pour que ces deux générations produisent le même couronoïde, il suffit que les deux gerbes aient le même centre O et que les feuillets ($M_0 D_0 P_0$) et ($m_0 d_0 p_0$) soient symétriques l'un de l'autre par rapport au point O ; le pôle du couronoïde est le point m_0 (situé sur la sphère de base) et le plan polaire est le plan p_0 (tangent à la sphère de gorge) ; le point M_0 n'est pas un pôle, mais comme c'est le point de la sphère de base qui est diamétralement opposé au pôle m_0, on peut appeler ce point l'*antipôle* du couronoïde ; de même le plan P_0 est symétrique du plan polaire p_0 par rapport au point O ; il est donc aussi tangent à la sphère de gorge et on peut l'appeler le *plan antipolaire* du couronoïde.

Revenons à la bicouronne : lorsque celle-ci se réduit à un couronoïde, c'est-à-dire lorsque le bifaisceau générateur se réduit à une gerbe de droites, les surfaces de base et de gorge deviennent des sphères, et le feuillet contraire de la bicouronne devient le feuillet contraire du couronoïde, c'est-à-dire que le point M_0 devient l'antipôle (et non pas le pôle) du couronoïde.

Une autre question intéressante est la suivante : *les surfaces de base et de gorge d'une bicouronne peuvent-elles coïncider ?* Nous savons en effet que pour les couronoïdes la sphère de base et la sphère de gorge peuvent coïncider ; dans ce cas, le plan P du feuillet générateur (MDP) est constamment tangent à la sphère décrite par le point M, et le couronoïde est appelé *couronoïde de flux,* parce que l'ensemble des positions du feuillet (MDP) détermine sur la sphère de base un système de *lignes de flux* (fig. 8) tel qu'en chaque point M de la sphère, la droite D est la tangente à la ligne de flux et le plan P le plan tangent à la sphère : celle-ci est donc une surface de flux. Existe-t-il des bicouronnes de flux, c'est-à-dire des bicouronnes dont la surface de base est une surface de flux ? Il faudrait pour cela que la base et la gorge coïncident, et jusqu'à présent je n'ai pas réussi à établir si cette condition est réalisable ou non.

Distribution des cotes dans une bicouronne. — Cette distribution est semblable à celle des cotes dans un bifaisceau de droites, puisque la cote f de chaque feuillet F d'une bicouronne est le double de la cote g de la droite correspondante G dans le bifaisceau générateur de la bicouronne ($f = 2g$). Or, la distribution des cotes dans un bifaisceau a été étudié par Ball [1], qui a montré que *les génératrices d'un bifaisceau qui ont une même cote forment un hyperboloïde.* On peut donc considérer un bifaisceau comme une famille d'hyperboloïdes, à chacun desquels

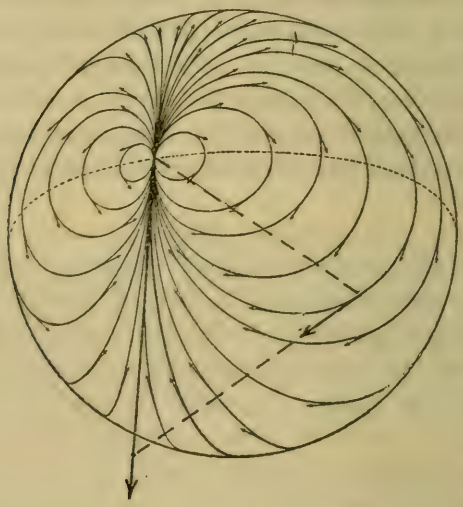


Fig. 8.

correspond une cote définie g. Tous ces hyperboloïdes sont coaxiaux, de sorte qu'on peut les représenter tous par l'équation :

$$(g_x - g)x^2 + (g_y - g)y^2 + (g_z - g)z^2 + (g_x - g)(g_y - g)(g_z - g) = 0 \ ,$$

équation dans laquelle g_x, g_y, g_z sont des constantes, qui représentent les cotes des trois axes de coordonnées. Si l'on pose $g = o$, on obtient l'équation de l'hyperboloïde dont les génératrices ont une cote nulle :

$$g_x x^2 + g_y y^2 + g_z z^2 + g_x g_y g_z = 0 \ .$$

[1]) Voir *Theorie of Screws*, p. 121.

Cet *hyperboloïde des cotes nulles* permet de définir géométriquement la distribution des cotes dans tout le bifaisceau, car si $2r$ est le diamètre de cet hyperboloïde qui est parallèle à une droite donnée G(g) du bifaisceau, on voit facilement, par les équations ci-dessus, que :

$$g = -\frac{g_x g_y g_z}{4r^2},$$

c'est-à-dire que *la cote d'une génératrice quelconque d'un bifaisceau est inversement proportionnelle au carré du diamètre parallèle de l'hyperboloïde des cotes nulles.*

Remarque. — Les hyperboloïdes dont l'ensemble constitue un bifaisceau possèdent chacun deux systèmes de génératrices rectilignes : or, un seul de ces systèmes appartient au bifaisceau ; mais il est évident que les génératrices du second système forment par leur ensemble un second bifaisceau, pourvu que l'on affecte ces génératrices d'une cote ($-g$) égale et de signe contraire à la cote g des génératrices du premier système ; les deux bifaisceaux ainsi obtenus sont « complémentaires », c'est-à-dire que les génératrices de l'un sont complémentaires des génératrices de l'autre et réciproquement [1].

Feuillets de cote nulle dans une bicouronne. — Nous avons vu qu'un feuillet non coté peut être considéré comme un feuillet dont la cote est nulle, c'est-à-dire que les systèmes fondamentaux des feuillets non cotés (*polysérie linéaires*) [2] ne sont pas autre chose que les systèmes obtenus en isolant dans une polycouronne tous les feuillets dont la cote est nulle. Du reste, les systèmes fondamentaux de la géométrie réglée (hyperboloïde, congruence et complexe linéaires) peuvent aussi être obtenus en isolant dans un polyfaisceau toutes les droites dont la cote est nulle : ainsi par exemple nous venons de voir que dans un bifaisceau, les droites de cote nulle forment un hyperboloïde.

[1] En effet, pour que deux droites qui se coupent soient complémentaires l'une de l'autre il suffit que leurs cotes soient égales et de signe contraire.

[2] Voir *Arch. des Sc. Ph. et Nat*, 1909, t. XXVIII, p. 429.

De même, *dans une bicouronne, les feuillets de cote nulle forment une monosérie linéaire de feuillets* (non cotés).

Mais les feuillets d'une bicouronne qui ont une cote nulle correspondent aux droites de cote nulle dans le bifaisceau générateur (puisque $f = 2g$) ; comme ces droites forment un hyperboloïde, on voit que : *une monosérie linéaire de feuillets* (non cotés) *est le lieu des feuillets* F *symétriques d'un feuillet fixe* F_0 *par rapport aux différentes génératrices d'un hyperboloïde.*

Ce résultat est très important, car dans notre « Géométrie des feuillets » nous avions simplement défini la *monosérie linéaire* comme le lieu des feuillets communs à 5 pentaséries linéaires, et cette définition ne nous permettait pas d'étudier la forme et les propriétés de la monosérie linéaire. Avec la nouvelle définition au contraire, on voit immédiatement, par exemple, que : *par 3 feuillets donnés on peut faire passer une monosérie linéaire et on n'en peut faire passer qu'une seule;* en effet, soient F_1, F_2, F_3 les 3 feuillets donnés : construisons le feuillet F_0 symétrique de ces 3 feuillets par rapport à 3 droites G_1, G_2, G_3, convenablement choisies ; les 3 droites G_1, G_2, G_3, déterminent un hyperboloïde et le lieu des feuillets F symétriques du feuillet fixe F_0 par rapport aux différentes génératrices G de cet hyperboloïde sera une monosérie linéaire contenant les 3 feuillets donnés. On voit, d'ailleurs, que le problème n'a qu'une solution.

En résumé, de même qu'un bifaisceau se compose d'une famille d'hyperboloïdes (dont chacun se compose de droites de même cote), de même une bicouronne se compose d'une famille de monoséries linéaires (dont chacune ce compose de feuillets de même cote) ; de sorte que l'étude des systèmes linéaires de feuillets rentre dans celle des polycouronnes.

IV. Les systèmes complémentaires

Lorsque deux systèmes de feuillets cotés sont tels que tout feuillet du premier système est complémentaire de tout feuillet du second, et réciproquement, on peut dire que *les deux systèmes sont complémentaires l'un de l'autre.*

Ainsi par exemple, puisque l'hexacouronne est le lieu de tous les feuillets complémentaires d'un feuillet donné, on peut énoncer la proposition suivante :

Théorème XIII. — *Le système complémentaire d'un feuillet unique* $\Phi(\varphi)$ *est une hexacouronne, et réciproquement.*

Corollaire. Si un feuillet $F(f)$ appartient à l'hexacouronne complémentaire d'un feuillet $\Phi(\varphi)$, réciproquement le feuillet $\Phi(\varphi)$ appartiendra à l'hexacouronne complémentaire du feuillet $F(f)$.

Théorème XIV. — *Sept hexacouronnes ont un feuillet commun et un seul.* En effet, 7 hexacouronnes ont en commun un nombre fini de feuillets cotés, puisque la position d'un feuillet coté dépend de 7 paramètres, c'est-à-dire de 7 conditions simples et indépendantes. D'autre part, si 7 hexacouronnes avaient en commun plusieurs feuillets $F_1(f_1)$, $F_2(f_2)$, $F_3(f_3)$, etc., en désignant par $\Phi_1(\varphi_1)$, $\Phi_2(\varphi_2)$, . . ., $\Phi_7(\varphi_7)$, les feuillets respectivement complémentaires des 7 hexacouronnes données, les feuillets $F_1(f_1)$ et $F_2(f_2)$ seraient complémentaires des 7 feuillets $\Phi(\varphi)$; mais alors, d'après le théorème II, toute la monocouronne $[F_1(f_1), F_2(f_2)]$ serait complémentaire de 7 feuillets $\Phi(\varphi)$, c'est-à-dire que les 7 hexacouronnes auraient une infinité de feuillets communs, ce qui est impossible, puisque 7 hexacouronnes (indépendantes les unes des autres) ne peuvent avoir en commun qu'un nombre fini de feuillets. Donc 7 hexacouronnes ne peuvent pas avoir plus d'un feuillet commun.

Corollaire 1. — *Il existe un feuillet coté, et un seul, qui soit complémentaire de 7 feuillets cotés donnés.*

Corollaire 2. — *Par 7 feuillets cotés on peut faire passer une hexacouronne et on n'en peut faire passer qu'une seule.* En effet, soit $F(f)$ le feuillet complémentaire des 7 feuillets donnés : l'hexacouronne complémentaire du feuillet $F(f)$ contiendra les 7 feuillets donnés et le problème n'a qu'une solution.

Théorème XV. — *Le système complémentaire d'une pentacouronne est une monocouronne et réciproquement.* En effet, la

pentacouronne est l'intersection de 2 hexacouronnes, c'est-à-dire le lieu des feuillets $F(f)$ complémentaires de 2 feuillets donnés $\Phi_1(\varphi_1)$ et $\Phi_2(\varphi_2)$. Mais d'après le théorème II, tout feuillet complémentaire de $\Phi_1(\varphi_1)$ et de $\Phi_2(\varphi_2)$ est aussi complémentaire de toute la monocouronne $[\Phi_1(\varphi_1), \Phi_2(\varphi_2)]$.

(C. Q. F. D.)

(Il est bien évident d'ailleurs qu'aucun feuillet $\Phi_3(\varphi_3)$, situé en dehors de cette monocouronne, ne peut être complémentaire de la pentacouronne donnée, car cette pentacouronne devrait être elle-même complémentaire des 3 feuillets $\Phi_1(\varphi_1)$, $\Phi_2(\varphi_2)$, $\Phi_3(\varphi_3)$; en d'autres mots elle devrait être commune à 3 hexacouronnes indépendantes ; or l'intersection de 3 hexacouronnes n'est pas une pentacouronne, mais une tétracouronne.)

Corollaire. — *Par 6 feuillets cotés on peut faire passer une pentacouronne et on n'en peut faire passer qu'une seule.* En effet, les 6 feuillets donnés ont respectivement pour systèmes complémentaires 6 hexacouronnes, qui se coupent suivant une monocouronne : la pentacouronne complémentaire de cette monocouronne contient donc les 6 feuillets donnés, et le problème n'a qu'une solution.

Théorème XVI. — *Le système complémentaire d'une tétracouronne est une bicouronne et réciproquement.* En effet, la tétracouronne est l'intersection de 3 hexacouronnes, c'est-à-dire, le lieu des feuillets $F(f)$ complémentaires de 3 feullets donnés ; mais, d'après le théorème XII, tout feuillet complémentaire de 3 feuillets donnés est aussi complémentaire de la bicouronne qui joint ces 3 feuillets. (C. Q. F. D.)

Corollaire. — *Par 5 feuillets cotés on peut faire passer une tétracouronne et on n'en peut faire passer qu'une seule.* En effet, les 5 feuillets donnés ont respectivement pour systèmes complémentaires 5 hexacouronnes, qui se coupent suivant une bicouronne : la tétracouronne complémentaire de cette bicouronne contient donc les feuillets donnés, et le problème n'a qu'une solution.

Théorème XVII. — *Le système complémentaire d'une tricouronne est une tricouronne.*

1. Dans le système complémentaire d'une tricouronne prenons 2 feuillets quelconques : la tricouronne étant complémentaire de chacun de ces 2 feuillets sera aussi complémentaire de toute la monocouronne déterminée par ces 2 feuillets, c'est-à-dire que cette monocouronne fait elle-même partie du système complémentaire de la tricouronne. *Ce système complémentaire est donc une polycouronne,* puisque toute monocouronne qui joint 2 feuillets de ce système fait elle-même partie du système.

2. *Cette polycouronne ne peut être qu'une tricouronne,* puisque nous connaissons déjà les systèmes complémentaires de toutes les autres polycouronnes, et qu'aucun de ces systèmes n'est une tricouronne.

Corollaire. — *Par 4 feuillets cotés on peut faire passer une tricouronne et on n'en peut faire passer qu'une seule.* En effet, les 4 feuillets donnés ont respectivement pour systèmes complémentaires 4 hexacouronnes, qui se coupent suivant une tricouronne : la tricouronne complémentaire de cette tricouronne contient donc les 4 feuillets donnés, et le problème n'a qu'une solution.

Résumé

Récapitulant les résultats obtenus dans ce paragraphe, nous pouvons faire une comparaison intéressante entre les systèmes de droites cotées et les systèmes de feuillets cotés :

I. *Droites cotées*

2 droites cotées	déterminent un	*monofaisceau,*	
3	»	»	*bifaisceau,*
4	»	»	*trifaisceau,*
5	»	»	*tétrafaisceau.*

Une *droite cotée*	est complémentaire d'un	*tétrafaisceau,*	
un *monofaisceau*	»	»	*trifaisceau,*
» *bifaisceau*	»	»	*bifaisceau.*

II. *Feuillets cotés*

2 *feuillets cotés*	déterminent	une	*monocouronne,*
3	»	»	*bicouronne,*
4	»	»	*tricouronne,*
5	»	»	*tétracouronne,*
6	»	»	*pentacouronne,*
7	»	»	*hexacouronne.*

Un *feuillet coté*	est complémentaire	d'une	*hexacouronne,*
une *monocouronne*	»	»	*pentacouronne,*
» *bicouronne*	»	»	*tétracouronne,*
» *tricouronne*	»	»	*tricouronne.*

(A suivre.)

ÉTUDE DE
L'AIMANTATION INITIALE
EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

PAR

P. WEISS et J. DE FREUDENREICH

But du travail

Les propriétés magnétiques des substances ferromagnétiques dans les champs faibles ont été l'objet de nombreuses recherches qui ont été résumées à plusieurs reprises dans des exposés d'ensemble[1]. Un travail dans lequel Lord Rayleigh [2] étudie l'aimantation initiale à la température ordinaire a beaucoup contribué à mettre en lumière la nature des phénomènes et à bien poser le problème expérimental. Il en résulte, comme d'ailleurs aussi des mesures de quelques-uns de ses prédécesseurs, que le lieu des cycles d'aimantation, que l'on appelle souvent courbe de commutation, peut être représenté par :

$$I = aH + bH^2, \qquad (1)$$

où I est l'aimantation, H le champ et a et b des coefficients

[1]) Voir notamment : Ewing, Magnetic Induction in Iron and other Metals, 3e éd., p. 124. Winkelmann, Handbuch. Vol, Magnetismus. Chwolson, Traité de Physique, éd. française, t. IV. p. 883 Parmi les travaux plus récents voir : Gumlich et Rogowski, *Ann. d. Phys.* 1911 t. 34, p. 234.

[2]) Lord Rayleigh : *Phil. Mag.* 1887, p. 225. Œuvres, t. II. p. 579.

constants. La susceptibilité $k = \frac{I}{H}$ est donc une fonction linéaire du champ

$$k = a + bH \ . \tag{2}$$

Il est remarquable que les deux coefficients a et b, donnés par la même expérience ont une signification essentiellement différente. Tandis que le premier mesure la partie réversible de l'aimantation dans les champs faibles qui n'entraîne aucune dissipation d'énergie, le second est la mesure du travail transformé en chaleur dans les petits cycles. Ce travail perdu dans un cycle d'amplitude H est en effet [1] :

$$W = \frac{4}{3} bH^3 \ . \tag{3}$$

De même que l'aimantation initiale en fonction du champ, la variation de l'aimantation avec la température est connue par un grand nombre de travaux. Parmi eux se trouvent des séries de mesures dans les champs faibles, mais il n'avait pas été fait, jusqu'à ces derniers temps, de détermination systématique des deux coefficients a et b en prenant soin de s'assurer à toutes les températures que l'on se trouve dans la région de variation linéaire de la susceptibilité.

Cette étude a pris un intérêt nouveau à la suite d'un travail [2] dans lequel une valeur de la susceptibilité a été déduite de l'hypothèse du champ moléculaire. Dans les corps anisotropes, cette hypothèse s'exprime à l'aide de trois coefficients N_1, N_2, N_3, relatifs à trois directions principales et l'on trouve en admettant que la substance est formée de cristaux orientés en tous sens, pour la susceptibilité initiale

$$a = \frac{1}{3}\left(\frac{1}{N_1 - N_2} + \frac{1}{N - N_3}\right) . \tag{4}$$

Si donc les coefficients du champ moléculaire sont constants, comme l'admet la théorie sous sa première forme, la suscepti-

[1]) Lord Rayleig, *loc. cit.* Voir aussi : *Recueil de Constantes de la Société Française de Physique*, p. 662.

[2]) P. Weiss, L'hypothèse du champ moléculaire et la propriété ferromagnétique, *J. de Phys.*, 1907, 4me série, t. 6, p. 661.

bilité initiale doit elle-même être indépendante de la température.

Le contrôle expérimental de cette propriété a été entrepris à la demande de P. Weiss, par Radovanovic [1] sur le nickel et par Renger [2] sur le fer et la magnétite. Ces études ont montré que la loi simple, suggérée par l'hypothèse du champ moléculaire, n'est pas vérifiée et que, par conséquent, le mécanisme des phénomènes dans les champs faibles est différent de celui qui avait été supposé. Mais elles ont révélé aussi des relations d'une simplicité frappante des coefficients a et b entre eux et avec l'intensité d'aimantation à saturation. Ainsi Radovanovic a trouvé pour le nickel la relation :

$$b = \frac{1}{1225} \cdot a^4 . \tag{5}$$

Il a trouvé en outre que le coefficient b, et par son intermédiaire le coefficient a s'expriment au moyen de l'intensité d'aimantation à saturation I. On a en effet :

$$b = 2{,}18 \frac{I_0 - I}{I} , \tag{6}$$

où I_0 représente la valeur de I au zéro absolu.

La formule (5) semble dépasser la portée d'une formule empirique et rend probable l'existence d'un même mécanisme encore inconnu dont dépend la partie réversible et la partie irréversible de l'aimantation initiale. La formule (6) montre que b, et par suite a, doivent s'annuler au zéro absolu. Les expériences de Radovanovic n'ayant pas été étendues au-dessous de la température ordinaire cette conséquence repose sur une extrapolation. Elle a été confirmée par les expériences de Perrier et de Kammerlingh-Onnes [3] à la température de 20° absolus, obtenue par l'hydrogène liquide.

Les expériences de Renger ont révélé, pour le fer et la magnétite, les propriétés analogues mais non identiques à celles du

[1]) Radovanovic, Thèse, Zurich 1911, *Archives* (4) 1911, t. 32, p. 315.

[2]) Renger, Thèse, Zurich 1913. P. Weiss et K. Renger : *Archiv für Elektrotechnik,* 1914, t. 2, p. 406.

[3]) Comm. Leiden, N° 126. 1912.

nickel. Il y a encore, pour la magnétite dans tout l'intervalle compris entre la température de l'air liquide et le Point de Curie, pour le fer dans un intervalle s'étendant de 200° au Point de Curie, une relation potentielle entre a et b. Seulement l'exposant n'est pas le même que pour le nickel. On a pour la magnétite :

$$b = Aa^{\frac{12}{5}}, \tag{7}$$

où A est un coefficient numérique. Cette relation est d'autant plus remarquable que chacune des quantités a et b subit des variations compliquées qui suggèrent l'existance de divers changements d'état et qui rendent peu probable une relation simple de l'une ou de l'autre avec l'intensité d'aimantation qui elle varie d'une manière continue.

Pour le fer on a :

$$b = Aa^{\frac{5}{3}}, \tag{8}$$

où A prend des valeurs différentes suivant l'état de recuit de la substance. Renger trouve pour a une relation avec l'intensité d'aimantation à saturation de même forme que celle que Radovanovic avait trouvé pour le nickel entre b et cette quantité. Il donne :

$$a = C\,\frac{I_0 - I}{I}, \tag{9}$$

où C est une constante. Cette formule ne peut prétendre à une grande précision.

Le but du présent travail est d'étendre à de nouvelles substances l'étude méthodique des propriétés des coefficients a et b. Nous nous sommes proposé notamment de voir si la loi potentielle se retrouverait et, dans ce cas, si les exposants continueraient à être des rapports rationnels simples, dans la limite de la précision des expériences. Les substances dont l'examen s'imposa sont le cobalt et les deux combinaisons définies Fe_2Ni, Fe_2Co.

Nous avons repris aussi les mesures sur la magnétite au moyen d'anneaux de magnétite artificielle que nous devons à l'obligeance de la maison « Elektron » de Griesheim qui prépare industriellement avec cette substance des électrodes inattaquables.

Il était intéressant de voir en mesurant si un échantillon, contenant d'autres impuretés et les contenant sans doute en plus grande quantité que celui qui avait été préparé par Renger, ce qui pouvait y avoir de permanent dans les propriétés.

Enfin il y a désaccord entre Radovanovic et Renger sur la variation des coefficients a et b dans le voisinage immédiat du Point de Curie. Les expériences de Radovanovic semblent indiquer que ces coefficients deviennent extrêmement grands dans le voisinage de ce point; la formule (6) donne même une valeur infinie; puis ils tombent brusquement à zéro. Renger, au contraire a trouvé, pour le fer et la magnétite, à quelques degrés au-dessous du Point de Curie, un maximum et ensuite une chûte moins rapide que celle que Radovanovic indique pour le nickel. Nous avons pour trancher la question, repris les mesures sur le nickel même dont Radovanovic s'était servi en perfectionnant beaucoup la mesure de la température afin de pouvoir suivre exactement la marche du phénomène.

Méthode de mesure

Nous avons employé la méthode classique de Rowland [1] et la même disposition des appareils que Renger. Les alliages ont été préparés en fondant des matières premières au four électrique [2]; les culots n'étaient jamais exempts de soufflures et il était assez délicat d'y tourner des anneaux. Pour obtenir une grande sensibilité il est nécessaire de rendre la section aussi grande que possible, cependant le rayon intérieur ne doit pas être trop petit, car le nombre de tours de l'enroulement lui est approximativement proportionnel. Si ces considérations entraient seules en jeu, il serait facile de déterminer la section donnant le maximum de sensibilité, mais en général les soufflures nous imposaient d'autre dimensions. Pour le Fe_2Co et le Fe_2Ni, pour tirer le meilleur parti possible du culot dont nous

[1]) Rowland, *Phil. Mag.* 1873, vol. XLVI, p. 151. Voir aussi : Ewing, *loc. cit.*, p. 59.

[2]) de Freudenreich, *Archives*, 1914, t. XXXVIII, p. 36.

disposions, nous avons choisi une section trapézoïdale, à la place de la section rectangulaire qui est à priori la plus rationnelle. La forme de cette section intervient dans le calcul des coefficients a et b. Il a été facile d'en tenir compte.

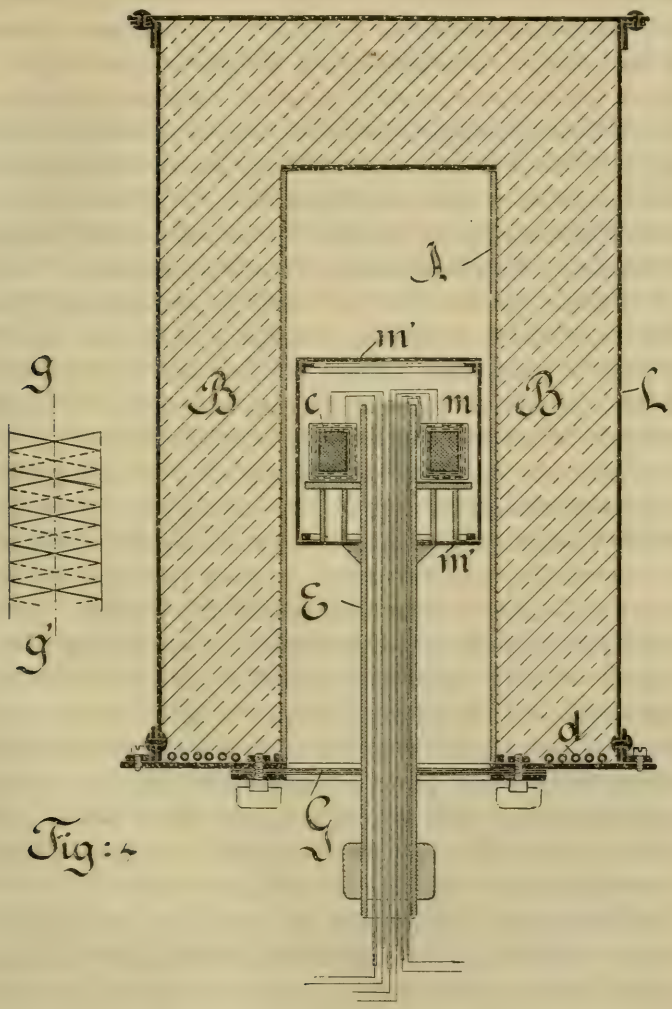
L'enroulement a été fait avec du fil d'argent quand la température ne devait pas dépasser 500°. Aux températures plus élevées nous avons fait usage de fil de nichrome qui ne s'oxyde pas et résiste jusqu'à 1300°. Comme isolant nous avons employé le mica qui isole bien jusque vers 800°. Pour le ferro-cobalt dont le point de transformation est plus élevé nous nous sommes servis de deux boîtes annulaires concentriques en silice fondue. La première qui portait extérieurement l'enroulement secondaire emboîtait directement l'anneau. La seconde emboîtait l'anneau avec son enroulement secondaire et portait extérieurement l'enroulement primaire. On n'a guère gagné qu'une cinquantaine de degrés, la silice commençant à prendre une conductibilité notable au-dessus de 800°.

Description des appareils

Le four électrique. Pour les mesures sur le ferronickel nous avons d'abord employé le four décrit par Renger. Ensuite, comme la température ne nous semblait pas assez constante et qu'elle ne dépassait pas 350° nous avons plongé l'anneau dans un bain d'huile chauffé par un courant électrique ; cette disposition assurait une température facilement réglable et uniforme dans toute l'étendue de l'anneau. Pour les autres alliages nous avons construit un nouveau four électrique remplissant toutes les conditions exigées, c'est-à-dire une température rigoureusement uniforme en chaque point de l'anneau et une constance presque absolue pendant le temps de la mesure.

Un tube de quartz A (voir fig. 4) de 32 cm. de long et de 12 cm. de diamètre est muni de deux enroulements de fil de nichrome de 1 mm. de diamètre disposés comme cela est indiqué en gg' dans la figure. On supprime ainsi comme on le ferait avec l'enroulement bifilaire ordinaire le champ produit à l'intérieur du four par le courant de chauffe et l'on évite en outre le danger

des courts-circuits. Ce cylindre est isolé thermiquement par de la terre d'infusoires *B* et placé dans une boîte de laiton *L*, dont la partie inférieure est refroidie par une circulation d'eau *d*,



pour protéger contre la fusion les supports isolants placés au-dessous. On uniformise la température en plaçant à l'intérieur du four une chemise métallique *m* en cuivre ou en nickel suivant les températures auxquelles on opérait. L'étude de ce four a été

faite en grande partie par M. A. Piccard à qui nous devons notamment le choix rationnel des dimensions de cette chemise métallique qui, contrairement à ce qui avait eu lieu dans les constructions précédentes, a été prise notablement plus courte que le bobinnage du courant de chauffe. La chemise est fermée par deux plaques métalliques m', m' de façon à obtenir une boîte close à l'intérieur de laquelle est placé l'anneau à étudier c. Cette boîte métallique est portée par un gros tube de porcelaine E à l'intérieur duquel passent les fils conducteurs isolés par des tubes de porcelaine plus fins. Le bas du four est fermé par une plaque d'amiante G pour empêcher une circulation d'air nuisible à l'uniformité de la température. Pour la même raison l'extrémité inférieure du tube E a été fermée avec de l'amiante. Nous avons contrôlé les variations de température à l'intérieur de cette boîte avec un couple thermo-électrique dont la force électromotrice était mesurée à l'aide d'un potentiomètre et d'un galvanomètre très sensibles. A la température de 600° pour laquelle les mesures ont été faites, une variation de 1° correspondait à une déviation du galvanomètre de 18 mm. L'appareil était donc sensible à un dix-millième de degré. Sur toute la partie qu'occupait l'anneau il n'a pu être constaté aucune variation ; au haut et au bas de la boîte l'écart atteignait 0,2°. De plus, comme l'anneau par sa conductibilité tend à uniformiser la température ont peut être certain qu'elle est la même dans toute son étendue.

La mesure de la température. Pour les mesures de la température nous nous sommes servis d'un couple thermo-électrique platine-platine rhodié pour les températures dépassant 500° et argent-constantan pour les températures moins élevées. Ces couples ont été étalonnés par comparaison avec des couples de même espèce, munis de certificats de la Reichsanstalt.

Le galvanomètre. Pour toutes les substances, le ferrocobalt excepté, nous avons pu nous servir d'un galvanomètre balistique à aimant fixe et à bobine mobile. Pour le ferrocobalt nous avons été obligés d'avoir recours à un galvanomètre de Lord Kelvin, à aiguilles verticales [1].

[1]) P. Weiss, Un galvanomètre extrêmement sensible. *J. de Phys.* 1895. 3e s., t. 4, p. 212.

L'ampère-mètre. Le courant primaire a été mesuré avec un ampère-mètre de précision Siemens & Halske, que nous avons étalonné à l'aide d'une résistance étalon et d'un élément Weston.

Marche des opérations

1. *Traitement thermique avant les mesures.* Dans toutes les mesures d'aimantation dans les champs faibles il faut se mettre à l'abri de perturbations causées par des changements d'état de la substance qui se traduisent par des irréversibilités thermiques et qui sont connus sous le nom de phénomènes de recuit ou de vieillissement. Nous avons adopté un mode de traitement, employé déjà par Radovanovic et Renger et qui a pour effet de réduire à un minimum l'irréversibilité thermique. Il consiste à chauffer le corps vingt ou trente fois au-dessus du Point de Curie, en le maintenant chaque fois à cette température pendant quatre à six heures et en le laissant ensuite refroidir. Le phénomène est alors plus approximativement fixé pour toutes les températures. Nous reviendrons sur ce point dans la discussion des résultats.

2. *Mesure de la susceptibilité pour un champ faible en fonction de la température.* Nous avons mesuré la susceptibilité pour un champ aussi faible que possible et comme nous n'étions pas tout à fait certains à priori de la reversibilité thermique, nous n'avons en général fait varier la température que dans un sens, en chauffant ou en refroidissant. Il est nécessaire que l'échauffement se fasse très lentement pour que la température soit la même à chaque point de l'anneau et à la soudure du couple. Dans le voisinage du point de Curie la variation de l'aimantation est excessivement rapide et le fait d'une différence de température à l'intérieur de l'anneau fausserait considérablement les résultats. Le four électrique nous a donné pleine satisfaction à ce point de vue ; pour le nickel, par exemple, il a été possible de franchir d'une façon continue un intervalle de 8° ce qui a permis de suivre point par point la marche de l'alimentation. Une batterie d'accumulateurs de grande capacité a donné un courant suffisamment constant.

3. *Mesure de la susceptibilité en fonction du champ pour des températures déterminées.* Pour ces mesures il importait que la température ne variât pas pendant toute la durée de l'opération, qui était de dix à quinze minutes. A cet effet on faisait passer un courant constant dans le four ; le régime était établi au bout de quatre à six heures. Pour déterminer exactement la droite $k = a + b\mathrm{H}$ il serait avantageux de prendre un grand nombre de points, mesurés chacun d'une façon précise. Mais de ce fait le temps nécessaire aux mesures excéderait facilement celui pendant lequel il est possible de maintenir la température constante. Il a donc fallu choisir un moyen terme, variant suivant la région des températures dans laquelle on opérait. Quand la susceptibilité ne varie que peu en fonction de la température, on peut déterminer beaucoup de points de la droite ; par contre dans le voisinage du Point de Curie, où cette variation est extrêmement rapide, il faut se contenter d'un nombre plus restreint. Avant chaque mesure l'anneau a été desaimanté et pour chaque point nous avons commuté le courant primaire une vingtaine de fois avant la mesure. La constante du galvanomètre a été déterminée avant et après les mesures pour chaque température.

4. *Détermination des coefficients* a *et* b. Pour déduire ces coefficients des observations sans l'intervention d'aucun facteur d'appréciation personnelle il eut été indiqué d'employer la méthode des moindres carrés. Mais eu égard au très grand nombre de droites que comprend ce travail cette maniere de procéder eut été très laborieuse. Nous avons préféré mener, au jugé, une droite au travers des points d'une série d'observations de manière à la représenter le mieux possible. Cette droite a servi à trouver les valeurs numériques de a et b. Nous avons conservé ces premières valeurs, alors même que par des droites menées d'une manière un peu différente on eut trouvé des lois plus régulières tout en représentant aussi exactement les observations. Nous avons procédé de même pour les droites représentant les relations entre log. a et log. b dont il sera question plus loin.

Le ferronickel Fe_2Ni

Les expériences de Hegg [1] ont montré que, pour la combinaison définie Fe Ni, l'aimantation à saturation suit exactement la loi théorique donnée par l'hypothèse du champ moléculaire. On pouvait espérer, pour cette raison, que l'aimantation initiale de ce corps serait particulièrement accessible à la discussion et donnerait peut-être un indice révélant la nature du phénomène.

Nous sommes partis de matières premières aussi pures que possible. Le nickel nous a été fourni par la « Mond Nickel C° »; il consistait en petites sphères d'environ un centimètre de diamètre, formées de couches concentriques provenant de la décomposition du nickel-carbonyle. L'analyse a donné :

Cuivre	0,004 %
Fer	0,04 %
Carbone	0,045 %
Silicium	0,008 %
Total. . .	0,097 %

De même nous devons le fer électrolytique à l'obligeance de la « Société Le Fer » de Grenoble, il contient

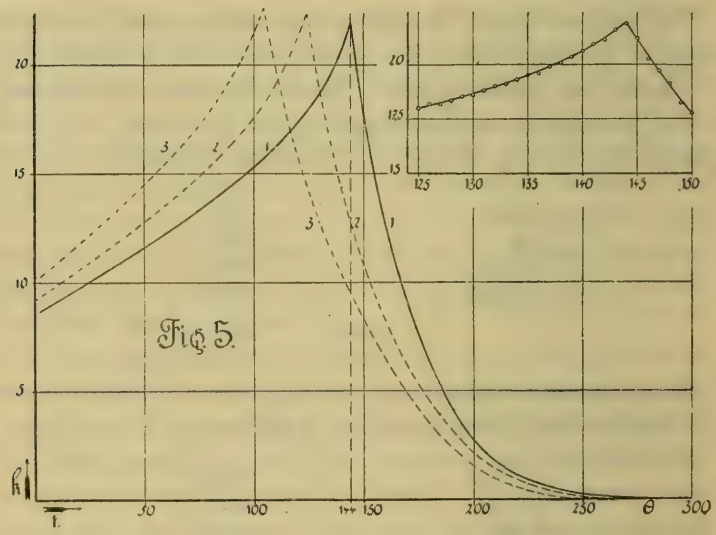
Carbone	0,004 %
Silicium	0,007 %
Soufre	0,006 %
Phosphore	0,011 %
Total. . .	0,028 %

Ces analyses nous ont été communiquées par les maisons qui nous ont fourni les matériaux. Nous avons fondu ces matières au four électrique dans les proportions théoriques et nous avons obtenu un culot dont le bas était très homogène; on a pu y tailler un anneau sans soufflures. Les deux enroulements au fil d'argent ont été isolés par du mica.

[1]) Hegg, Thèse Zurich, 1910.

1. *Mesure de l'aimantation initiale en fonction de la température.* Après avoir fait subir au métal le traitement thermique indiqué ci-dessous, nous avons d'abord mesuré l'intensité d'aimantation en fonction de la température pour un champ constant de 0,05345 Gauss. Avec ce champ les plus petites déviations du galvanomètre étaient de 40 mm et assuraient une précision suffisante. Aux températures plus élevées elles devenaient très grandes et nous avons dû les réduire en mettant une résistance en parallèle avec le galvanomètre.

Les résultats sont portés graphiquement dans la fig. 5.



Si l'on chauffe très lentement en mettant huit à dix heures pour parcourir l'intervalle de la température ordinaire à 400°, la susceptibilité suit la courbe 1, si l'on chauffe plus vite (quatre heures pour parcourir l'intervalle) elle suit la courbe 2 et pour une durée encore plus courte (deux heures) la courbe 3. La susceptibilité ne prend donc pas immédiatement la valeur correspondant à une température donnée. Mais si partant d'un point quelconque des courbes 2 et 3 on maintient la température constante pendant plusieurs heures, la susceptibilité tend lentement vers la valeur donnée par la courbe 1.

TABLEAU I

t	k	t	k	t	k
15,0	9,41	134,95	19,49	163,0	11,44
20,3	9,74	136,0	19,62	168,5	9,43
32,7	10,48	137,1	19,91	173,1	8,10
46,8	11,45	138,0	20,08	179,8	6,34
55,1	11,89	139,1	20,36	185,1	5,17
67,3	12,75	140.05	20,61	191,2	3,98
78,5	13,55	141,2	20,94	198,7	2,86
91,2	14,51	142,1	21,16	207,0	1,97
103,4	15,58	142,9	21,58	211,4	1,56
115,2	16,80	143,8	21,93	218,9	1,14
125,0	18,00	145,0	21,42	227,5	0,77
126,0	18,15	146,1	20,27	231,4	0,64
128,1	18,35	147,0	19,80	238,2	0,45
128,9	18,56	148,2	19,13	249,1	0,23
130,2	18,60	148,9	18,23	253,5	0,18
131,1	18,81	150,1	17,77	264,0	0,11
131,8	18,98	153,4	15,62	271,7	0,055
134,0	19,25	158,1	13,35	280,0	0,00

On pourrait croire à un retard thermique entre le couple et l'anneau provenant des deux couches de mica interposées. Cette cause provoquerait en effet des différences dans le même sens que celles indiquées par les courbes 2 et 3. Les expériences faites dans les mêmes conditions sur le nickel ont montré que le retard entre la température du couple et celle de l'anneau ne peut de beaucoup être aussi grand. Nous avons affaire ici à un type d'adaptation thermique, sorte de vieillissement ou de recuit de courte durée, qui n'a pas été constaté pour les autres corps.

En chauffant plus ou moins lentement on peut naturellement obtenir toutes les courbes situées entre 1 et 3 et il doit en exister encore au delà de 3, mais celles-ci sont inobservables avec l'appareil qui ne suit pas instantanément les variations de température.

La courbe 1 peut être considérée comme courbe limite.

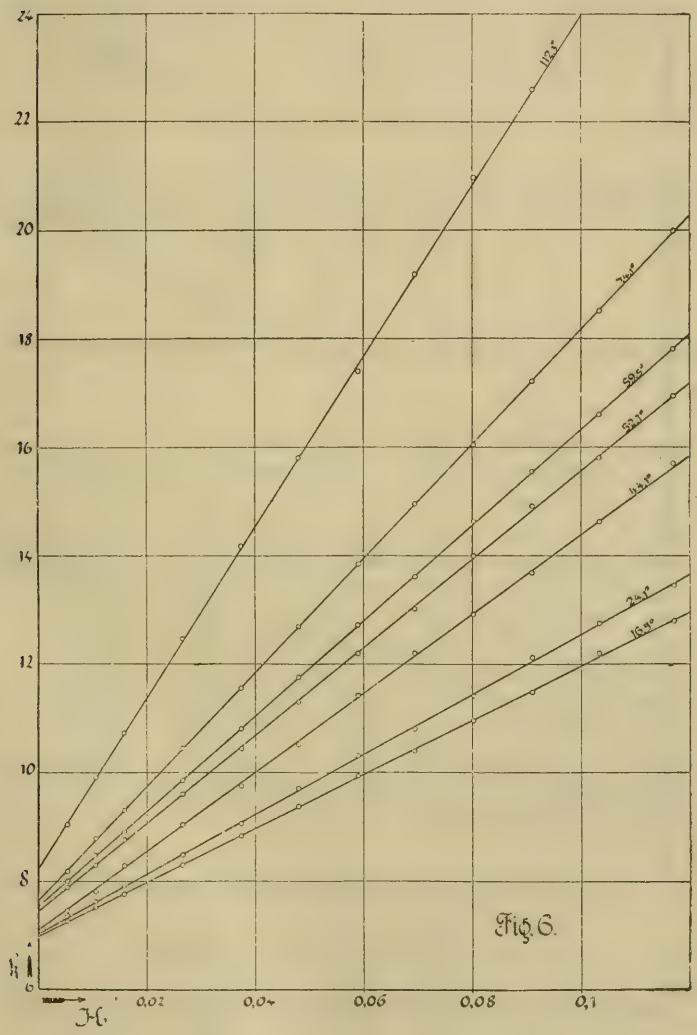
Elle reste la même si on la parcourt en refroidissant le corps au lieu de le chauffer, le phénomène est réversible. Les valeurs de k pour cette courbe limite sont portés dans le tableau 1.

Certaines particularités sont en désaccord avec ce qu'on aurait pu attendre par analogie avec les expériences antérieures, nous remarquerons notamment que : *La physionomie générale de la courbe* est entièrement différente de celle des courbes obtenues par Radovanovic et Renger pour le nickel, le fer et la magnétite. La disparition du ferromagnétisme est beaucoup moins rapide. Quand au *Point de Curie* il est impossible de le déterminer avec précision au moyen de nos expériences, à cause de la forme de la courbe, tangente à l'axe des températures, dans la région où la susceptibilité tombe à des valeurs inappréciables. On peut estimer grossièrement par la fig. 5 que les fortes susceptibilités ont disparu à 280°. Par interpolation entre les mesures de Hegg [1] sur les alliages à 30 % et 40 % de nickel on trouve 254°. Les expériences de Weiss et Foex [2] faites dans la région β sur les mêmes alliages donnent 327°. Enfin *la courbe présente un point anguleux à 144°*. Nous avons confirmé ce résultat des premières expériences par une nouvelle série de mesures dans laquelle on a fait varier la température très lentement, ce qui a permis de déterminer un grand nombre de valeurs de la susceptibilité à des températures très rapprochées. Ces mesures sont aussi représentées dans la fig. 5. Nous reviendrons sur cette question à propos de l'étude séparée des deux coefficients a et b, mais nous pouvons dès à présent faire remarquer que, dans les expériences de Hegg qui donnent pour l'aimantation à saturation une continuité parfaite, rien ne pouvait faire prévoir cette singularité.

2. *Mesure de la susceptibilité en fonction du champ à des températures déterminées.* Nous avons déterminé une première série de droites $k = a + bH$ en commençant par la température ordinaire. Celles qui correspondent à des températures inférieures à 144° ont été représentées dans la fig. 6 ; elles présentent

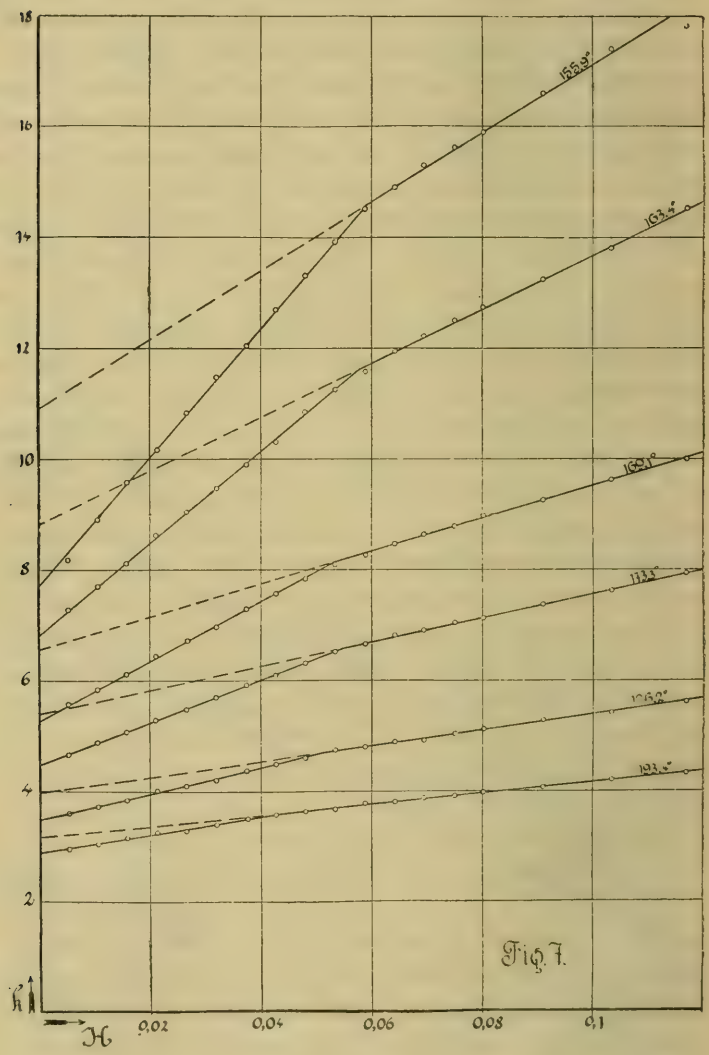
[1]) Hegg, Thèse, Zurich, 1901.
[2]) Weiss et Foex, *Archives*, 1911, 4me période, t. 31, p. 89.

le phénomène connu : a et b augmentent avec la température. La fig. 7 renferme les droites obtenues aux températures au-



dessus de 144° ; le phénomène a changé : nous avons pour une même température deux droites qui se coupent. Le phénomène change donc pour une certaine valeur du champ. Il est à remar-

quer que, aux différentes températures, ce changement ne se produit pas à la même valeur du champ.



Les valeurs numériques de k correspondent aux droites des fig. 6 et 7 ; sont portées en outre pour chaque droite la température et les valeurs numériques des coefficients a et b.

Pour rechercher s'il y a entre a et b une relation potentielle nous avons porté dans les fig. 8 et 9 les log. a en fonction des log. b. Dans la fig. 8 les points marqués par o correspondent aux droites de la fig. 6

On peut à la rigueur mener par ces points une droite. Nous avons trouvé ainsi :

$$b = 6{,}577 \times 10^{-4} \times a^{7{,}04} \,. \qquad (10)$$

Nous avons procédé de même pour les droites correspondant aux températures au-dessus de 144° portées dans la fig. 7.

TABLEAU II

H	k						
$t =$	18,3	24,1	40,8	52,7	59,5	74,1	113,6
0,005088	7,26	7,36	7,45	7,88	8,00	8,18	9,04
0,01044	7,51	7,62	7,80	8,29	8,48	8,78	9,90
0,01580	7,76	7,90	8,28	8,76	8,90	9,30	10,73
0,02662	8,29	8,48	9,03	9,60	9,85	10,44	12,45
0,03744	8,83	9,06	9,75	10,43	10,80	11,55	14,18
0,04809	9,38	9,71	10,52	11,30	11,76	12,69	15,80
0,05889	9,94	10,31	11,42	12,20	12,72	13,84	17,40
0,06945	10,40	10,80	12,20	13,02	13,61	14,95	19,18
0,08033	10,96	11,41	12,92	14,00	14,63	16,04	20,97
0,09100	11,48	12,12	13,68	14,91	15,55	17,21	22,60
0,1034	12,20	12,75	14,62	15,80	16,60	18,51	24,48
0,1169	12,80	13,45	15,70	16,95	17,82	20,00	26,69

t	a	b
18,3	6,98	49,8
24,1	7,03	55,1
40,8	7,10	72,9
52,7	7,45	81,0
59,5	7,45	87,7
74,1	7,65	105,1
113,6	8,24	157,4

Tableau III

H	k					
$t =$	155,9	163,4	169,1	186,2	193,4	173,3
0,005088	8,18	7,28	5,58	3,60	2,96	4,67
0,01044	8,90	7,70	5,84	3,72	3,03	4,89
0,01580	9,58	8,12	6,12	3,84	3,16	5,08
0,02132	10,17	8,62	6,44	4,02	3,26	5,29
0,02662	10,84	9,04	7,72	4,10	3,28	5,48
0,03197	11,46	9,47	6,96	4,21	3,40	5,70
0,03744	12,05	9,90	7,29	4,38	3,51	5,92
0,04263	12,70	10,31	7,57	4,49	3,58	6,10
0,04809	13,31	10,85	7,83	4,60	3,64	6,31
0,05345	13,92	11,26	8,09	4,75	3,67	6,52
0,05889	14,51	11,58	8,26	4,80	3,77	6,65
0,06422	14,90	11,95	8,47	4,89	3,80	6,81
0,06945	15,29	12,22	8,64	4,92	3,87	6,90
0,07500	15,61	12,50	8,78	5,04	3,90	7,03
0,08033	15,84	12,74	8,97	5,12	3,97	7,12
0,09100	16,60	13,24	9,25	5,29	4,06	7,37
0,1034	17,41	13,80	9,62	5,41	4,20	7,62
0,1169	17,83	14,52	10,00	5,63	4,32	7,93

t	a_1	b_1	a_2	b_2
173,3	4,48	38,4	5,40	21,6
155,8	7,72	116,0	10,92	62,0
163,4	6,815	83,3	8,84	48,2
169,1	5,27	53,8	6,56	29,6
186,2	3,48	23,6	3,97	14,2
193,4	2,88	16,6	3,16	10,0

Les premières droites, c'est-à-dire celles avant le coude donnent un premier système de valeurs a_1 et b_1. En prolongeant les secondes après le coude, jusqu'à H = O on détermine un second système de grandeurs a_2 et b_2. Dans la fig. 9 la droite 1 représente la relation entre a_1 et b_1, la droite 2 la relation entre a_2 et b_2.

Nous avons trouvé graphiquement :

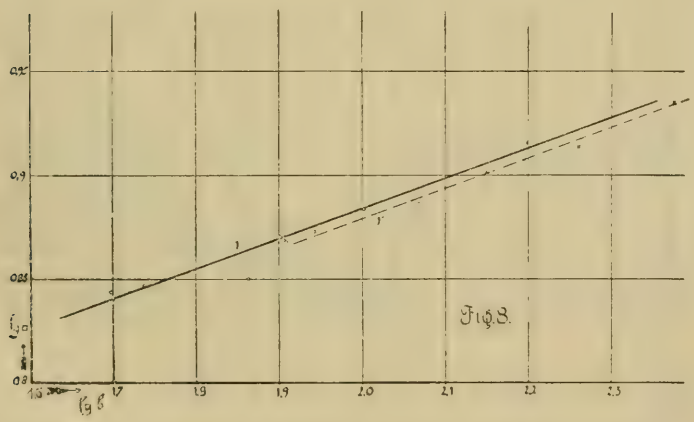
$$b_1 = 2{,}00 \times a_1^{1{,}96} , \qquad (11)$$

$$b_2 = 1{,}778 \times a_2^{1{,}49} . \qquad (12)$$

Il est à remarquer que si l'on porte les log. a en fonction des log. b on trouve encore une droite 3 qui donne

$$a_2 = 0{,}544 \times b_1^{0{,}63} .$$

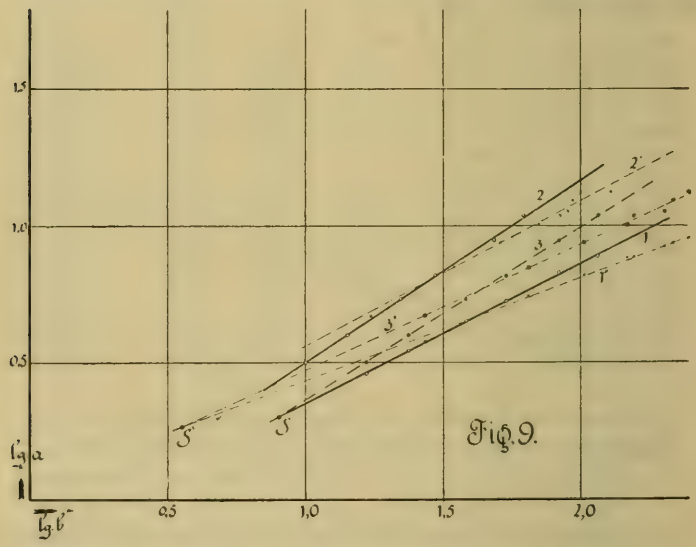
Les exposants 2,96, 1,49 et 0,63 sont au degré de précision des expériences 2, $\frac{3}{2}$ et $\frac{5}{8}$.



Les propriétés de l'aimantation du ferronickel Fe_2Ni ressemblent donc à celles des corps étudiés jusqu'à présent en ce que la relation entre a et b est potentielle. Mais tandis que précédemment on n'avait jamais trouvé qu'une relation unique de cette espèce pour chaque substance, ici on en obtient trois. L'une est relative aux températures inférieures à 144° les deux autres correspondent aux deux segments des droites brisées trouvées au-dessus de cette température. Le caractère nettement différent de ces relations semble indiquer l'existence de trois états différents de la substance.

Ces relations n'étant pas déterminées d'une manière bien satisfaisante par cette première série d'expériences, nous avons

cherché à atteindre une plus grande précision par de nouvelles mesures. Mais après quelques jours pendant lesquels la matière a subi plusieurs traitements thermiques, nous avons trouvé, à notre grande surprise, que ses propriétés avaient évolué. Il y a encore trois systèmes de valeurs a, b correspondant à ceux qui avaient été trouvés dans la première série d'expériences et il existe encore entre ces valeurs des relations approximativement potentielles, mais les résultats sont moins nets que précédemment comme le montre le plus grand éparpillement des points autour des droites 1′, 2′, 3′ de la fig. 9. Si donc nous les



représentons pour les températures inférieures à 144°, par la formule :

$$b = C \times a^{6,95} , \tag{14}$$

et pour les températures inférieures à 144° par :

$$b_1 = 0,696 \times a_1^{3,67} , \tag{15}$$

$$b_2 = 0,878 \times a_2^{1,89} , \tag{16}$$

$$a_2 = 0,989 \times b_1^{0,463} , \tag{17}$$

ce n'est que pour compléter la description et sans pouvoir attribuer une signification définie à la valeur des exposants. Remar-

quons toutefois que le premier exposant n'a pas sensiblement varié.

Nous avons cherché à retrouver les propriétés simples du début par de nouveaux traitements thermiques. Ils n'ont fait qu'accentuer cette évolution désastreuse du métal et ont conduit à des résultats de plus en plus confus. Nous avons alors changé la manière de procéder. Au lieu de prendre toute une série de droites à des températures successivement plus élevées ou moins élevées, mais en ne faisant pas changer le sens de la variation de la température, nous avons mesuré une série de droites à des températures différentes en partant pour chacune de la température ordinaire, à laquelle on laissait stationner préalablement le corps pendant plusieurs heures. Le résultat n'est pas devenu meilleur. Une autre tentative, tout aussi infructueuse, a été faite en faisant stationner le corps pendant plusieurs heures au-dessus du Point de Curie et en le laissant ensuite refroidir rapidement à la température de la mesure.

3. *Détermination de* a *et* b *en fonction de la température.* — En admettant que les lois potentielles des fig. 8 et 9 soient données d'une façon suffisamment exacte, on peut à l'aide de la fig. 5 déterminer a et b en fonction de la température. Nous avons à cet effet les deux relations entre les deux inconnues a et b :

$$k = a + b\mathrm{H} \tag{18}$$

et

$$b = \mathrm{C} \times a^p \ , \tag{19}$$

k est donné en fonction de la température par la fig. 5 ou H est constant = 0,05345 Gauss.

a est donc déterminé par

$$k = a + \mathrm{H} \times \mathrm{C} \times a^p \ . \tag{20}$$

Nous avons résolu cette équation graphiquement en traçant la courbe $k = a + \mathrm{H} \times \mathrm{C} \times a$ en fonction de a ; la comparaison avec la fig. 5 donne a en fonction de la température. La valeur de b est obtenue ensuite par les relations potentielles.

Pour simplifier les calculs nous avons remplacé les exposants des relations 10, 11, 12 et 13 par les nombres rationnels : 7, 2, $\frac{3}{2}$ et $\frac{5}{8}$ indiqués plus haut.

Pour la région au-dessus de 144° il faut tenir compte d'une particularité des droites coudées : Le champ auquel le coude des droites de la fig. 7 se produit n'est pas constant mais devient de plus en plus petit à mesure que la température augmente et pour une certaine valeur de celle-ci il sera plus petit que 0,05345 Gauss, champ avec lequel nous avons mesuré la susceptibilité k en fonction de la température. On voit en effet que pour les droites à 186°,2 et 193°,4 le champ du coude est inférieur à 0, 05345 Gauss. Donc, tant que le coude se produira à un champ plus élevé que 0,05345 Gauss nous pourrons déterminer a et b de la manière indiquée en nous servant des équations 18 et 11

$$k = a_1 + 0{,}05345 b_1 \tag{18a}$$

et

$$b_2 = 2{,}00 \times a_1^{2,0} \ . \tag{21}$$

On calculera ensuite a_1 et b_1 avec les équations 12 et 13.

Aux températures supérieures la valeur de k donnée par la fig. 5 se trouve sur la seconde droite et alors nous déterminons a_2 et b_2 avec les relations 18 et 12 :

$$k = a_2 + 0{,}05345 b_2 \tag{18b}$$

et

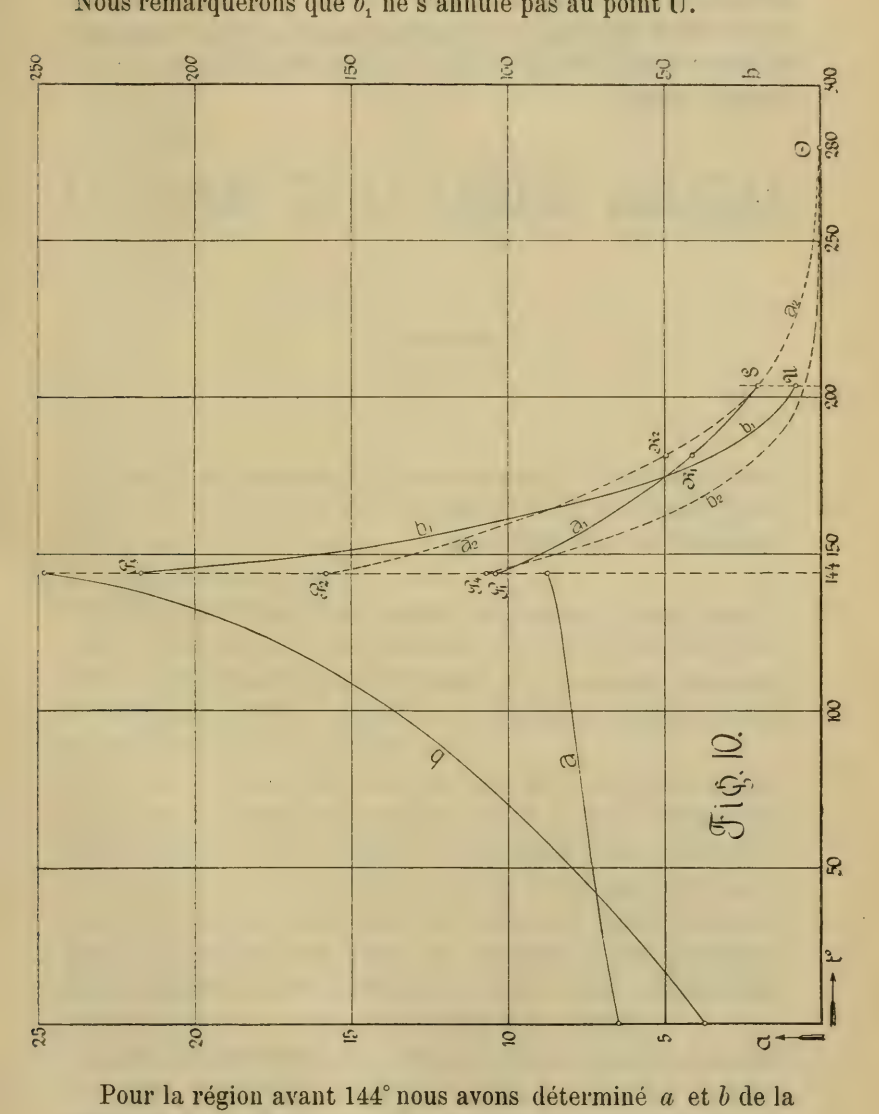
$$b_2 = 1{,}778 \times a_2^{3/2} \tag{22}$$

et a_1 et b_1 avec 11 et 13. On peut déduire des équations 11 et 13

$$a_2 = 0{,}840 \times a_1^{5/4} \ . \tag{23}$$

Les résultats de ces calculs sont représentés dans la fig. 10. Nous ne connaissons pas à priori la température pour laquelle le coude se produit à 0,05345 Gauss, mais on peut le déterminer approximativement. En partant de 144° on calcule a_1 en fonction de la température, ensuite en retournant depuis S on calcule a_2 et à l'aide de l'équation 23 a_1. Ces deux courbes se coupent en R_1. Il est difficile de déterminer exactement la position de ce point, car les courbes se coupent sous un angle très aigu, elles se superposent même dans un intervalle de plusieurs degrés. A partir du point S a_1 n'existe plus, nous n'avons plus que a_2. Dans la fig. 10, a_1 est donc déterminé par P_1R_1S et a_2

par P_2R_2S. On calcule ensuite les valeurs de b_1 et b_2 à l'aide de nos relations. b_1 est représenté par la courbe P U et b_2 par Pθ. Nous remarquerons que b_1 ne s'annule pas au point U.



Pour la région avant 144° nous avons déterminé a et b de la même façon. La valeur de a ne coïncide pas avec celle de a_1 à la température de 144°, comme cela devrait être. La cause de cette discordance peut être attribuée à plusieurs raisons. D'un

côté la loi potentielle (10) n'est pas déterminée très exactement et un petit changement soit de la constante soit de l'exposant amènerait la concordance, mais d'autre part nous avons vu que le métal était sujet à des changements d'états continuels et nous croyons pouvoir attribuer la discordance plutôt à cette dernière cause.

(A suivre)

NOUVELLES OBSERVATIONS

SUR

LA NATURE DE LA LUMIÈRE ZODIACALE

PAR

F. SCHMID

Ce sujet de concours a été proposé par la Société helvétique des Sciences naturelles pour le prix Schlæfli de l'année 1914. Ce qui suit est un extrait du mémoire couronné conformément au rapport des experts.

A la suite d'observations poursuivies durant plusieurs années, l'auteur est arrivé à la conviction que ce phénomène mystérieux, si peu observé à nos latitudes, n'est pas autre chose que le reflet de la lentille constituée par notre atmosphère et éclairée par le soleil.

L'aplatissement d'un corps en rotation ne dépendant pas seulement de la vitesse de rotation et de la force d'attraction, mais avant tout de la faible force de cohésion des molécules, il en résulte que notre atmosphère ne forme pas une couche sphérique régulière autour de la terre, mais qu'elle doit être bien plus aplatie aux pôles que la terre solide elle-même. L'atmosphère n'aura donc pas la forme d'une sphère régulière autour de la terre, mais plutôt d'une lentille.

L'idée de considérer la lumière zodiacale comme un reflet de notre atmosphère extérieure offre au premier moment une certaine difficulté par le fait que ce phénomène ne se produit pas dans le plan de l'équateur, mais bien dans celui de l'écliptique. Il faudrait donc admettre que le plan de l'équateur

de la lentille atmosphérique coïncide sensiblement avec celui de l'écliptique et serait ainsi différent du plan de rotation de la terre. Cette déviation pourrait être occasionnée par l'attraction plus grande des continents, qui, par leur poids spécifique plus grand et par leur hauteur au-dessus du niveau de la mer, présentent une plus grande masse.

Cette manière de voir est cependant en contradiction avec les résultats des mesures modernes de la pesanteur, mais mérite d'être prise en considération. D'autre part, des influences cosmiques pourraient exercer une certaine influence: dans le voisinage du plan de la lumière zodiacale se trouvent les corps célestes les plus proches de nous, le soleil, la lune et les planètes, et leurs forces attractives doivent influer sur la position de notre lentille atmosphérique si mobile. L'action de toutes ces forces est encore augmentée par la grande probabilité que la vitesse angulaire de rotation de l'atmosphère diminue vers l'extérieur. L'ensemble de toutes ces conditions doit tendre à rapprocher le plan de la lentille atmosphérique de celui de l'écliptique, dans le voisinage duquel se trouve la lumière zodiacale.

La fig. 1 montre la lentille atmosphérique vue du pôle.

Le soleil éclaire encore les parties extérieures de la lentille, et produit pour l'observateur, placé en H et H', la lumière zodiacale, R J P. Le « Gegenschein »[1], C G O, qui apparaît à l'orient comme une deuxième lumière zodiacale, mais beaucoup plus faible, est produit par la réflexion de la lumière de la lune.

Il serait cependant possible, d'après mes observations, que la lumière zodiacale, dans des conditions favorables, produise aussi un reflet très faible à l'orient, de même que la lumière pourpre de l'occident se reflète à l'orient, (« Ostnachglühen »). Comme en outre, et lorsque les conditions sont favorables, la lumière zodiacale et le Gegenschein de la lune se touchent et se confondent même dans leurs extrémités J G, la formation d'un pont lumineux (« Lichtbrücke ») pourrait avoir lieu. Il se

[1]) Le terme de « Gegenschein » est maintenant admis dans toutes les langues. Pour ceux de « Lichtbrücke » (pont lumineux), « Lichtachse » (condensation axiale de la lumière zodiacale), nous emploirons les mots courts de Pont, Axe (avec majuscules).

peut aussi que des zones de poussières (« atmosphärischer Höhenstaub ») se trouvent dans l'équateur atmosphérique et qu'elles favorisent la formation de ce pont lumineux.

Pour mieux faire comprendre les observations qui suivent, il était nécessaire d'indiquer d'abord, dans leurs grandes lignes, ces notions fondamentales. Elles sont traitées plus en détail dans les publications parues jusqu'à ce jour [1].

L'auteur a observé la lumière zodiacale plusieurs centaines de fois durant plus de vingt ans, dans le Toggenbourg, pays de collines, favorable pour ces sortes d'observations. Il faut une atmosphère transparente, pas de lune, pas d'éclairage de villes ou de villages dans les environs. Sous les tropiques, ce phénomène est visible pendant toute l'année, durant toutes les nuits claires sans lune, le soir après, et le matin avant le crépuscule, parce que dans ces contrées, l'axe de la lumière zodiacale (« Lichtachse ») est presque perpendiculaire sur l'horizon. Dans nos latitudes, la visibilité de la lumière zodiacale dépend de sa position qui suit à peu près la direction de l'écliptique. C'est pour cette raison que nous la voyons d'autant mieux que l'écliptique est plus voisin de la perpendiculaire à l'horizon.

Les premiers indices de la lumière zodiacale occidentale commencent à se montrer au mois d'octobre. Depuis cette époque, la pyramide de lumière se développe et arrive à son maximum en janvier, pour décroître ensuite, aussi bien en étendue qu'en intensité ; à la fin du mois de mars, il y a une recrudescence et, en avril et mai, elle se transforme insensiblement dans l'arc crépusculaire septentrional de l'été.

A l'époque de l'équinoxe de printemps, la lumière zodiacale est déjà très faible dans nos latitudes et on ne peut plus parler d'une période principale. Un phénomène analogue se produit pour la lumière zodiacale orientale, dont le commencement, au nord-est, tombe à la fin de juillet et au commencement d'août, et la phase maximum, au mois de novembre, ne coïncide donc

[1]) 1908. Das Zodiakallicht. Ein Versuch zur Lösung der Zodiakallichtfrage. *Beiträge z. Geophysik.* Bd. IX. — 1911. Neue Beobachtungen über Zodiakallicht. *Beiträge z. Geophysik* Bd. XI. — 1912. Das Zodiakallicht. *Astronomische Korrespondenz VI. Jahrgang* Nr. 4 und 5.

pas avec l'équinoxe d'automne. Les dernières traces peuvent être observées au mois de mars au sud-est. Chez nous, ce sont donc les mois de mai, juin et juillet où il n'y a pas de lumière zodiacale, sauf quelques premiers et derniers vestiges de la lumière zodiacale occidentale et orientale.

Pendant la première partie de l'hiver jusqu'au mois de février, nous pouvons l'observer, pendant les nuits claires, à l'occident, le soir, et à l'orient, le matin. A cette époque, quand les conditions sont favorables, l'apparition de la lumière zodiacale est absolument certaine, et pendant mes vingt-trois années d'observations elle n'a pas fait défaut une seule fois.

De même le Gegenschein, formé normalement par la lumière réfléchie de la lune décroissante, n'est pas un phénomène rare. Il en est tout autrement du Pont qui, même sous les tropiques, n'est observable que lorsque l'air est particulièrement transparent. Il peut être observé aussi chez nous, mais c'est extrêmement rare.

A notre latitude, la lumière zodiacale ressemble à une pyramide à trois côtés, inclinée vers le sud, et qui correspond à la section de la lentille atmosphérique illuminée vue de côté. Sous les tropiques, les faces équilatérales de la pyramide sont dirigées au droit de l'observateur, soit plus ou moins normalement à l'horizon, suivant le lieu d'observation. Dans les latitudes plus élevées, la perspective change, et on voit la pyramide davantage de côté. C'est ainsi qu'elle devient irrégulière à mesure que l'on s'éloigne des tropiques. En Suisse, la forme est donc intermédiaire entre la vue de front et la vue de côté (fig. 1).

Pour nous, l'Axe qui correspond à l'équateur de l'atmosphère s'approche de l'arête sud et se place, par un effet de perspective, environ au premier tiers de la pyramide, compté depuis le sud.

La base de la pyramide est formée par le plan horizontal de l'observateur et les trois côtés correspondent à la surface du cône d'ombre dirigé vers la terre et aux deux flancs de la lentille atmosphérique illuminée.

Les dimensions de la pyramide lumineuse sont certainement plus grandes qu'on ne l'admet généralement, parce que l'obser-

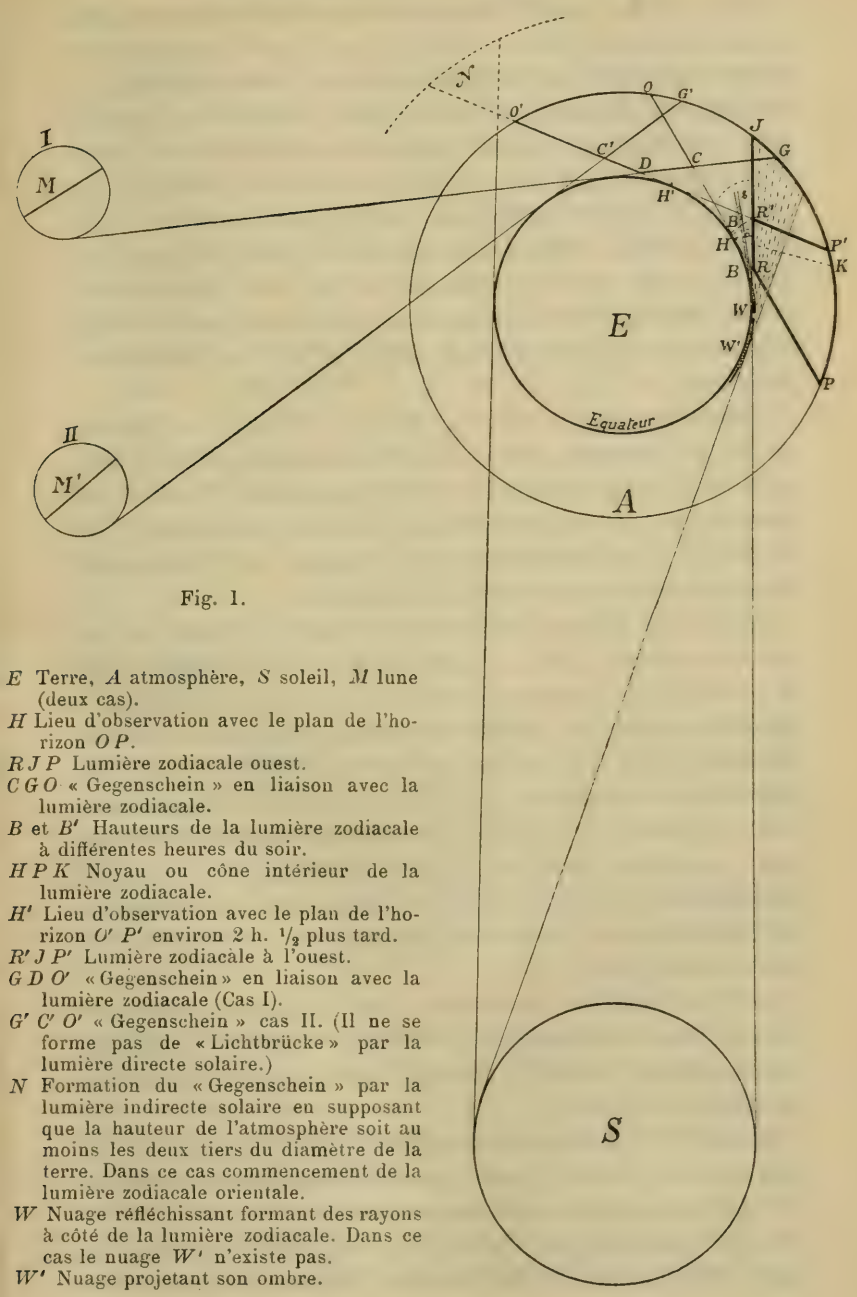


Fig. 1.

E Terre, *A* atmosphère, *S* soleil, *M* lune (deux cas).
H Lieu d'observation avec le plan de l'horizon *O P*.
R J P Lumière zodiacale ouest.
C G O « Gegenschein » en liaison avec la lumière zodiacale.
B et *B'* Hauteurs de la lumière zodiacale à différentes heures du soir.
H P K Noyau ou cône intérieur de la lumière zodiacale.
H' Lieu d'observation avec le plan de l'horizon *O' P'* environ 2 h. $^1/_2$ plus tard.
R' J P' Lumière zodiacale à l'ouest.
G D O' « Gegenschein » en liaison avec la lumière zodiacale (Cas I).
G' C' O' « Gegenschein » cas II. (Il ne se forme pas de « Lichtbrücke » par la lumière directe solaire.)
N Formation du « Gegenschein » par la lumière indirecte solaire en supposant que la hauteur de l'atmosphère soit au moins les deux tiers du diamètre de la terre. Dans ce cas commencement de la lumière zodiacale orientale.
W Nuage réfléchissant formant des rayons à côté de la lumière zodiacale. Dans ce cas le nuage *W'* n'existe pas.
W' Nuage projetant son ombre.

vateur porte ses regards surtout sur les parties les plus intenses, et que de faibles effluves lui échappent. Dans nos régions, la largeur sur l'horizon peut atteindre 110°, surtout quand la pyramide est fortement inclinée. La base moyenne est de 60° à 90°, et la longueur maximum à partir du soleil est de 70° à 165°.

Le Gegenschein de même est plus étendu qu'on ne l'admet en général. L'absorption par notre atmosphère atteint la faible lumière latérale, surtout vers l'horizon. C'est ainsi que cette faible étendue lumineuse apparaît comme une tache ovale ou ronde. Mais, en réalité, le Gegenschein ressemble pour la forme à la lumière zodiacale; sa base atteint 50° à 80° et sa longueur 70° à 145°.

Beaucoup d'observateurs attribuent au Pont une largeur de 2° à 15°; il est situé le long de l'écliptique, et relie les sommets de la lumière zodiacale et du Gegenschein. D'après mes observations, pas très nombreuses, cette zone lumineuse a une largeur de 5° au minimum et elle se fusionne, en s'élargissant, avec la lumière zodiacale et le Gegenschein.

Si la voie lactée a une structure plutôt granuleuse, la lumière zodiacale, elle, a l'aspect plutôt flou et laiteux. Dans la partie la plus intense, là où son axe touche l'horizon, la lumière zodiacale a souvent une teinte tirant sur le rouge et ressemble ainsi aux lueurs crépusculaires. Vers le haut, sa teinte tourne au jaune et, tout à fait vers le bord, au jaune pâle. J'ai l'impression que les teintes ne sont pas toujours les mêmes. Dans la période principale, janvier et février, les parties les plus intenses rappellent souvent la lueur rouge d'un incendie. Le Gegenschein est plutôt blanchâtre, avec, quelquefois, une faible teinte jaune.

Les limites de la pyramide ne sont jamais bien nettement définies, mais s'atténuent, sur une largeur d'environ 2°, jusqu'au bleu sombre de la nuit. En général, la limite est plus marquée au sud qu'au nord.

De même, l'intensité générale entre l'Axe et la limite sud est plus forte que celle de l'autre partie. Cette répartition inégale de l'intensité provient probablement du fait que la partie boréale de la pyramide est plus étendue pour l'observateur que la partie méridionale et que la même quantité de lumière est

ainsi condensée dans un espace angulaire plus petit et paraît ainsi plus intense.

L'intensité lumineuse de la pyramide diminue progressivement vers le haut et vers les bords ; quelques observateurs cependant distinguent certaines zones bien marquées. Jones n'en distingue pas moins de quatre : « effulgent light, stronger light, diffuse light et paled sky ». Même si cette classification paraît un peu problématique, elle pourrait avoir sa raison d'être. D'autres observateurs encore croient voir, pendant l'époque du plus grand éclat, un cône intérieur, court, pointu et plus intense. Effectivement, il arrive que l'on ne peut pas, chez nous, se débarrasser de l'impression, qu'ici et là, après le crépuscule, il existe vraiment un noyau ou un cône. C'est probablement le « effulgent light » de Jones. Le « stronger light » est probablement l'Axe, que nous ne devons pas nous représenter comme un ruban étroit de lumière, mais bien comme une zone lumineuse, d'une certaine largeur, estompée en haut et sur les côtés, et qui, partant de l'horizon, s'amincit au sommet de la pyramide et se confond petit à petit avec la faible lumière des parties extérieures de celle-ci.

La zone extérieure est probablement le « diffuse light », qui finit par se confondre, dans un espace de 1° à 2°, avec le bleu du ciel de la nuit. Il est aussi possible que Jones comprenne dans cette zone extérieure le « paled sky », à moins qu'il n'entende par là le renflement en forme de manteau de la lumière zodiacale du mois d'avril, dont nous reparlerons plus tard.

Nous voyons que la classification de Jones est remarquable. Il est même certain que les parties extérieures de la lentille atmosphérique se composent de couches sans limites bien tranchées et qui produisent des zones lumineuses dans la lumière zodiacale. J'attire surtout l'attention sur le cône intérieur, qui est sans doute produit par la réflexion atmosphérique de la lumière, beaucoup plus forte à l'horizon, où les couches d'air sont plus denses. C'est sur ce point que nous voulons spécialement attirer l'attention.

La fig. 2 représente la lentille atmosphérique au-dessus de la terre et vue du côté du pôle. Les lignes OP figurent les plans

horizontaux, de 7 h. du soir à minuit. O′PJ indique, pour chaque heure, la lumière zodiacale vue en entier de côté. Les cercles pointillés parallèles entre la terre et l'équateur atmosphérique représentent les couches différentes supposées de

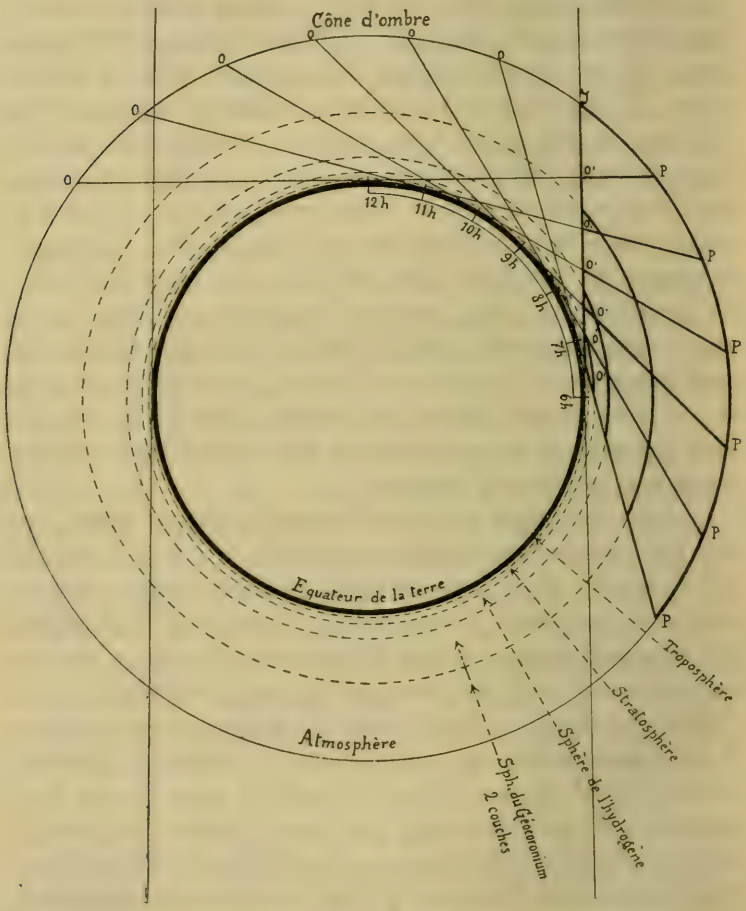


Fig. 2.

l'atmosphère. On admet actuellement que la stratosphère atteint une hauteur de 70 km. et la sphère de l'hydrogène 200 km. Au-dessus on admet encore la sphère du géocoronium d'une hauteur complètement inconnue.

Il n'y a pas de doute que la forme lenticulaire de notre atmosphère soit moins prononcée au voisinage immédiat de la terre, et qu'elle s'accentue de plus en plus avec la hauteur. C'est vers l'équateur que les différentes couches sont les plus hautes. Dans de bonnes conditions, on peut admettre, avec une grande certitude, qu'immédiatement après le crépuscule nous pouvons apercevoir, à la base de la lumière zodiacale, la sphère réfléchissante de l'hydrogène et peut-être même la limite extérieure de la stratosphère. C'est ainsi que s'explique la grande augmentation d'intensité vers l'horizon, et l'impression d'un cône extérieur court et d'un plus grand éclat. Nous voyons d'après la fig. 2 que cette lumière ne peut pas durer plus de deux heures après la fin du crépuscule, ce qui est conforme aux faits observés.

D'après mes observations, il est très probable que la sphère du géocoronium se partage d'une façon sensible en deux couches dont l'intérieure agit encore un certain temps après l'extinction, soit le coucher du noyau d'hydrogène, et fait ressortir vers la base de la pyramide une lueur assez forte, qui s'éteint insensiblement sur les côtés et le sommet, et se confond à la fin avec le reflet de la couche extérieure du géocoronium.

Cela expliquerait pourquoi le développement, puis l'évanouissement de la lumière zodiacale, le soir et le matin, ne se font pas graduellement. La diminution d'éclat de la lumière zodiacale se fait surtout sentir dans les premières heures d'observation, le soir, et un fort développement vers les dernières heures avant le crépuscule du matin. Cela s'explique simplement par la profondeur atteinte par les rayons solaires, tangents à la lentille atmosphérique (voir fig. 2).

Le développement régulier de ces phénomènes subit aussi des perturbations. Différents observateurs ont remarqué des pulsations dans cette lumière, habituellement si tranquille; l'auteur aussi croit avoir aperçu des oscillations de ce genre.

Aux Indes, W. Maunder a vu des traînées sombres et H. Gruson, en 1892 en Egypte, a découvert une ombre qui partageait la pyramide de la lumière zodiacale en deux moitiés. En opposition avec ces ombres, le prof. Pechuel Lœsche parle de rayons brillants qu'il a vus sous les tropiques dans les océans Atlantique et Pacifique. Ils ressemblent à des queues

droites de comètes de grandeur moyenne et se trouvent par groupes de deux ou trois du côté sud de la pyramide.

Tous ces phénomènes accessoires sont restés inexpliqués, parce qu'on ne connaissait pas la cause de la lumière zodiacale, mais il est maintenant évident qu'ils sont produits simplement par des nuages situés au-dessous de l'horizon. Et quiconque a déjà contemplé les feux des nuages dans le soleil couchant ou des nuages d'orage, comprendra aisément que des reflets semblables puissent se produire dans une atmosphère remplie de poussières et de vapeurs.

Dans le plan de la lumière zodiacale, ces rayons viennent sans doute se placer en avant de la pyramide lumineuse et sont alors invisibles. Observés d'un endroit situé au nord, ils sortent de la pyramide et se placent au sud par le fait de la simple perspective. Il est évident que de grands nuages au-dessous de l'horizon pourront éteindre, partiellement ou totalement, pour un temps plus ou moins long, la lumière zodiacale (fig. 1). Tous ces phénomènes s'expliquent donc très facilement et donnent ainsi un appui sérieux à la théorie qui assigne à la lumière zodiacale une origine tellurique.

La grande largeur de la base et le fort renflement lumineux vers l'horizon prouvent en outre que la lumière zodiacale ne peut pas être de forme annulaire comme le pensait Heis. Un anneau se projetterait sur le ciel comme un ruban lumineux régulier, mais qui serait d'un éclat plus faible à l'horizon, à cause de l'absorption plus considérable. En réalité, c'est le contraire qui a lieu. Dans un mémoire précédent, j'ai traité des observations de la lumière zodiacale par rapport à la théorie des nuages de poussières ; la place me manque pour traiter tout au long ce sujet ici. (Voir *Neue Beobachtungen,* etc., p. 113-116).

Lorsqu'on observe, pendant une belle nuit, on a d'abord l'impression que la lumière zodiacale ne change pas de position par rapport aux constellations. Des observations de plusieurs années conduisent cependant à la conclusion contraire. En effet des étoiles qui se trouvent au commencement de la nuit vers la branche sud, s'enfoncent, au bout de quelques heures, dans la pyramide. Ainsi, par exemple, les étoiles de la Baleine, placées

du côté sud de la lumière zodiacale ouest, s'approchent, puis empiètent d'environ 1° sur la pyramide au bout de deux heures. Il est naturellement très difficile de constater des déplacements des étoiles dans la pyramide même, sa lumière diffuse ne présentant pas de point de repère.

Mais si ce déplacement n'est pas très facile à constater dans une seule nuit, son mouvement annuel, le long du firmament, l'est, par contre, d'autant plus ; il suit naturellement le déplacement des constellations suivant la saison ; cela prouve que la lumière zodiacale est indépendante des étoiles fixes, et qu'elle a son origine dans le voisinage de la terre.

Un autre déplacement double peut être constaté nuit après nuit : pendant que la pyramide occidentale s'enfonce sous l'horizon, elle se redresse en même temps vers le nord (fig. 3). La pyramide orientale se déplace dans le sens horizontal vers le sud, et s'incline de plus en plus jusqu'à l'apparition de l'aurore. Ces déplacements angulaires s'expliquent par le changement de notre plan horizontal par rapport à la lumière zodiacale. Dans la fig. 1., OP et O'P' représentent les plans horizontaux, *a* et *b* les angles qu'ils forment avec les rayons solaires, B et B' la distance de la terre à l'atmosphère réfléchissante.

Lorsqu'il est placé dans le plan de l'équateur atmosphérique, l'observateur aperçoit la lumière zodiacale sous la forme d'une pyramide équilatérale, qui se couche verticalement à l'ouest et se lève verticalement à l'est. Les déplacements latéraux ne se produisent pas, car tous les mouvements ont lieu dans la direction de la ligne visée.

Mais pour l'observateur placé plus au nord, le plan horizontal change continuellement par rapport à la surface du cône d'ombre terrestre, et la distance grandissante du cône à la terre se fait sentir par un déplacement de la pyramide vers la droite (fig. 3) ; ce seront surtout la branche sud et l'Axe qui prendront part à ce déplacement, tandis que la branche nord restera presqu'immobile. Cette immobilité n'est cependant qu'apparente ; elle est occasionnée par la position de cette branche qui coïncide sensiblement avec la direction des cercles parallèles. D'autre part, les changements de la branche sud sont plus grands que ceux de l'Axe. La moyenne de 40 obser-

vations donne, pour elle, un déplacement horaire à droite de 7°,548 et pour l'Axe de 5°,505; les augmentations correspondantes horaires des angles sont de 5°,263 et de 4°,033. Il est probable que l'effet de l'absorption atmosphérique est plus fort pour la branche sud, d'intensité lumineuse plus faible que pour

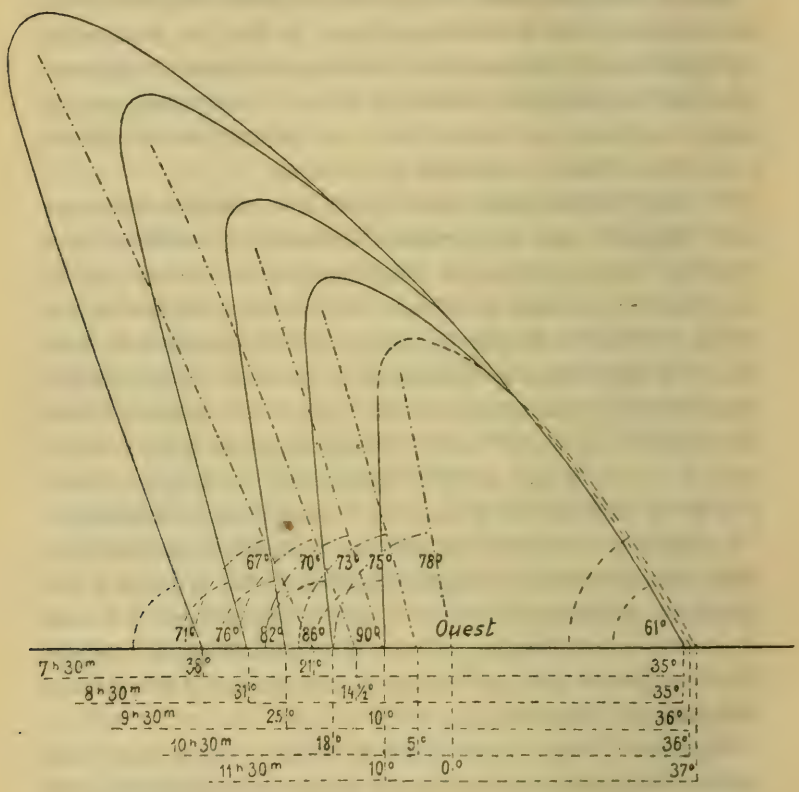


Fig. 3.

La lumière zodiacale observée le 31 janvier 1911 pendant 4 heures. Les changements de la pyramide sont apparents et dépendent seulement des déplacements du plan de l'horizon.

l'Axe beaucoup plus intense, ce qui explique une partie de la différence des mouvements.

Cette explication n'est pourtant pas entièrement satisfaisante, parce que les changements des angles présentent aussi

des différences, et que l'on peut encore présumer que des effets de perspective entrent en jeu. On peut admettre comme règle générale que des changements semblables, vus à la même distance, produisent les mêmes résultats. Et comme l'Axe offre des valeurs moindres que la branche sud, nous pouvons conclure que la distance de la masse réfléchissante principale de l'Axe est plus grande que celle de la branche sud et que, par conséquent, l'aplatissement de l'atmosphère terrestre est considérable.

La branche boréale subit les mêmes changements que les autres parties de la pyramide, mais les observations sont rendues très difficiles par la faible intensité lumineuse vers l'horizon. Théoriquement (fig. 4), les déplacements horizontaux des trois parties principales de la pyramide sont les suivantes : branche sud 49°,5, Axe 47° et branche nord 53° à 55°. Ces valeurs, débarrassées des effets perturbateurs de l'absorption atmosphérique, indiquent de nouveau les différentes distances des masses lumineuses : l'Axe a la plus petite distance, la branche nord la plus grande et la branche sud est entre deux.

Nous touchons, par ces considérations, à la question de la parallaxe. Il semble inexplicable que les recherches sur la parallaxe de la lumière zodiacale aient donné, jusqu'à présent, un résultat négatif, surtout quand on suppose que la lumière zodiacale est le reflet de notre atmosphère aplatie. Même, si elle était d'origine cosmique, en relation avec la terre ou le soleil, il faudrait toujours que nous admettions des indices de parallaxe ; la supposition très osée que la lumière zodiacale est formée de corpuscules qui s'étendent jusqu'à l'infini, ne nous satisfait aucunement, et elle est en contradiction avec le déplacement de la pyramide parmi les étoiles.

Nous pourrions donc dire que la parallaxe ne confirmerait aucune des théories sur la lumière zodiacale. La détermination de la parallaxe rencontre, du reste, de grandes difficultés, parce que dans l'étendue énorme de la pyramide lumineuse, il n'y a aucun point fixe de repère. Même les sommets sont si indéterminés qu'aucun point de cette lueur ne peut être fixé. Malgré tous les soins, les erreurs sont donc impossibles à éviter, surtout quand les observateurs font des recherches à

deux endroits différents. En admettant que la lumière zodiacale soit produite par un reflet de l'atmosphère terrestre, nous pourrions d'abord espérer trouver quelqu'indice de parallaxe; mais le succès n'est pas certain, car nous avons à compter avec

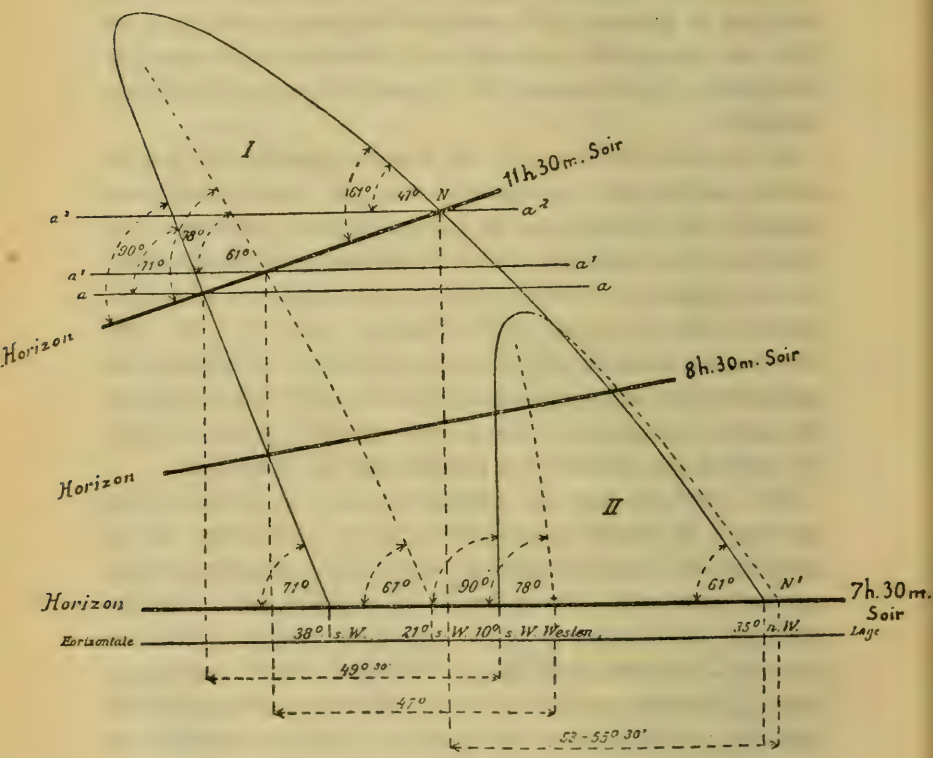


Fig. 4.

La lumière zodiacale observée le 31 janvier 1904.

Les changements réels sont causés par le déplacement du plan de l'horizon. Les portions les plus élevées de la pyramide (I) se redressent graduellement et se trouvent, après 4 heures d'observation, au-dessus de l'horizon en II.

une perturbation très importante qui rendra toujours des conclusions mathématiques impossibles. Cette perturbation consiste dans l'absorption par l'air du cône d'ombre. Cette absorption affaiblit l'intensité des parties les plus éloignées

de la lentille atmosphérique davantage que les plus proches; elle les éteint même entièrement; tandis que les plus voisines de nous restent optiquement actives. Cette perturbation devient d'autant plus forte que nous sommes plus éloignés du plan équatorial de la lentille atmosphérique. Pour un observateur situé sur l'hémisphère boréal, ce sont les parties sud qui s'effacent; le contraire a lieu pour un observateur situé sur l'hémisphère austral. Les observateurs placés sous des latitudes différentes observent donc chacun une lumière zodiacale différente. Ces perturbations augmentent avec l'affaiblissement des parties réfléchissantes et, avec l'augmentation de la distance. Le fait suivant nous le démontre :

Il résulte de nos dessins originaux, dont le nombre est de 300 environ et qui accompagnent le mémoire principal, que le plus souvent l'Axe n'est pas parallèle à l'écliptique, mais qu'il s'en éloigne de plus en plus de la base au sommet. En général, on peut admettre que l'écart est d'autant plus grand que la pyramide est plus inclinée. Pour un lieu situé sur l'hémisphère boréal, soit pour la lumière zodiacale occidentale, soit pour l'orientale, cet écart est dans la direction du nord, jamais dans celle du sud (fig. 5). A première vue, on pourrait croire que nous avons affaire à un angle parallactique. Mais il n'en est cependant pas ainsi, car, pour un observateur situé au nord de l'écliptique, il faudrait que l'écart de position du sommet fût au sud et non pas au nord (fig. 6. B—R^3). Ce résultat est d'autant plus remarquable, que la base de la pyramide lumineuse qui contient les couches les plus voisines de la terre et les plus activement réfléchissantes accuse le plus faible écart. Ce phénomène aussi n'est qu'une illusion, produite par l'absorption atmosphérique, et prouve de nouveau combien il faut compter avec elle quand il s'agit de la question si difficile de la parallaxe. Cette déviation du sommet vers le nord est causée par la diminution progressive de l'intensité lumineuse et l'augmentation de la distance des parties réfléchissantes vers le sommet de la pyramide de la lumière zodiacale (fig. 1 et 2), de sorte que, pour notre œil, les masses septentrionales seules sont efficaces. Près de l'horizon, les conditions sont inverses : les couches les plus basses et les plus réfléchissantes sont aussi

Lumière zodiacale orientale.
6 janvier 1913, à 6 h. du matin. Air 1—2.

Lumière zodiacale occidentale.
22 décembre 1913, à 7 h. du soir. Air 1—2.

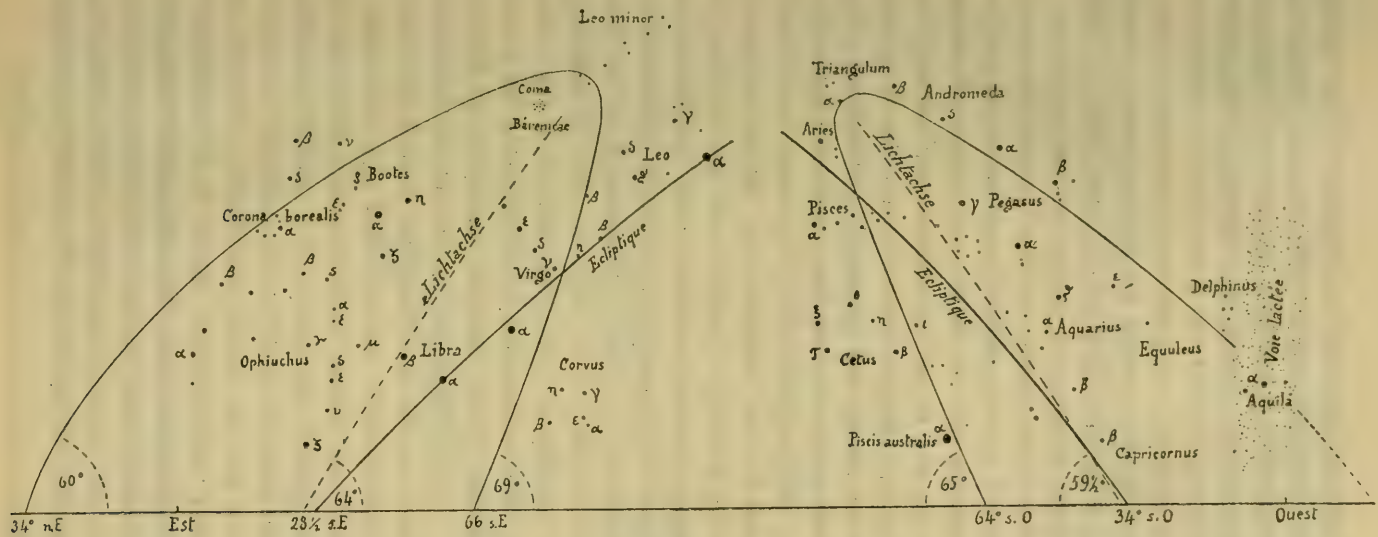


Fig. 5.

L'effet de l'absorption atmosphérique sur la pyramide de la lumière zodiacale dans des latitudes nord.

Le sommet montre une forte déviation vers le nord due à l'effet unilatéral de l'absorption. Le même phénomène se manifeste aussi pour le « Gegenschein » lunaire.

le plus près de l'observateur, et la force lumineuse de ces parties, augmentant progressivement, devient si puissante qu'elle résiste à la force d'absorption qui augmente aussi. Il y a encore un autre facteur qui intervient: les couches d'atmosphère qui se rapprochent d'autant plus de la forme sphérique qu'elles sont plus près de la surface de la terre; et puisque les couches les plus basses sont les plus sphériques, il faut que la direction de la plus grande intensité lumineuse soit dirigée vers le soleil pour chaque lieu d'observation. C'est ce fait qui a conduit à l'idée erronée que la lumière zodiacale appartient au soleil.

Après avoir reconnu la grande signification de l'absorption atmosphérique dans la formation de la pyramide de la lumière zodiacale, nous comprendrons mieux ce que dit Jones[1], cet ancien observateur de la lumière zodiacale :

1° « Quand je me trouvais au nord de l'écliptique, le corps principal de la lumière zodiacale se trouvait aussi au nord de cette ligne;

2° « Quand j'étais au sud de l'écliptique, la majeure partie se trouvait aussi au sud;

3° « Quand je me trouvais près de l'écliptique, cette lumière était partagée en deux parties égales ou presque égales par l'écliptique ».

Ces paroles de Jones ont une valeur toute particulière et elles indiquent d'une manière indubitable l'influence de l'absorption atmosphérique (fig. 6). L'essai d'obtenir des valeurs parallactiques indiscutables est donc sans espoir dans ces conditions. Il faut se contenter de déduire la hauteur des couches réfléchissantes de l'atmosphère, en se basant sur la position des sommets de la pyramide et sur la position du soleil sous l'horizon. Mais on n'obtiendra pas, par ce moyen, la véritable hauteur de notre atmosphère, parce que, plus haut, se trouve encore une masse atmosphérique considérable qui n'a plus aucun pouvoir réfléchissant.

Il faut encore faire remarquer que, dans nos latitudes, l'Axe se trouve au premier tiers ou au premier quart de la pyramide,

[1]) K. Schwend, Das Zodiakallicht, 1902. Verlag G. J. Giegler Schweinfurt.

en comptant à partir du sud, tandis qu'il occupe exactement, ou à peu près, le milieu de la pyramide, quand on observe dans le plan de l'écliptique. Ce changement considérable de la perspective pour une si courte distance est frappant, même si nous tenons compte de l'effet de l'absorption, et il indique une origine tellurique de tout le phénomène plutôt qu'un effet de

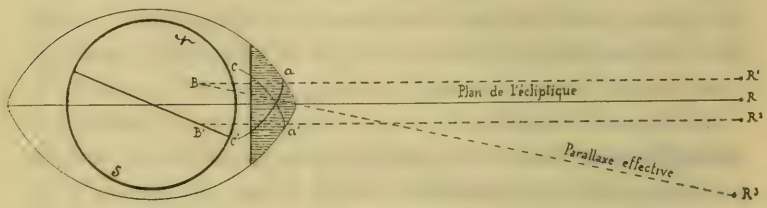


Fig. 6.

L'absorption atmosphérique et la parallaxe.

*B B*¹ Lieux d'observation au nord et au sud de l'écliptique.
a a' L'équateur apparent de l'atmosphère produit par l'absorption unilatérale de l'air. Il ne se produit pas de parallaxe malgré le déplacement du lieu d'observation de *B* à *B*¹ (voir *R R*¹ et *R*²).
c c' Le côté apparent de la lentille atmosphérique à l'opposé de l'observateur.

parallaxe. Si la pyramide était placée en dehors de l'atmosphère terrestre, et si elle était un phénomène cosmique, la perspective ne changerait que peu de chose pour ce faible changement de position de l'observateur, des tropiques jusqu'à nos latitudes, et l'absorption de l'atmosphère agirait plus également sur les deux parties de la pyramide.

(A suivre).

LES

CÉVENNES MÉRIDIONALES

(MASSIF DE L'AIGOUAL)

ÉTUDE PHYTOGÉOGRAPHIQUE

PAR

Josias BRAUN

(Suite[1])

II. Les principaux phénomènes du climat dans leurs rapports avec la végétation.

Les manifestations de la vie végétale étant dominées par des conditions d'ordre climatique, nous devons nous occuper d'abord des principaux facteurs qui composent le climat.

Les Bulletins de la Société météorologique du Gard ont fourni la base concrète de cette étude. Nous devons également des renseignements précieux à M. Giraudel, forestier observateur à l'Aigoual. Un observatoire de premier ordre y fonctionne depuis 1895. Les observations ont lieu six fois par jour; un résumé en est publié chaque mois dans le Bulletin; nous y avons puisé aussi les indications relatives aux postes météorologiques du Vigan, de Valleraugue et de Saint-Sauveur et aux observations pluviométriques d'Arrigas.

[1]) Voir *Archives*, 1915, t. XXXIX, p. 72.

Le travail de dépouillement a été long et pénible, d'autant plus, que depuis quatre ou cinq ans seulement les bulletins mensuels sont suivis d'un résumé annuel. Toutes les moyennes ont été calculées sur une période d'observations de dix ans (1902-1912). C'est une durée assez courte, sans doute, mais nous avons introduit dans cette étude, autant que possible des faits d'observations directes sur le terrain, susceptibles de suggérer des comparaisons utiles et de contribuer en même temps à bien caractériser le climat.

A. Précipitations atmosphériques, nébulosité humidité de l'air.

Si les grandes lignes géobotaniques dépendent avant tout de la répartition de la chaleur, un autre facteur non moins important domine la distribution locale des végétaux sous une même latitude : c'est la répartition de l'humidité.

Les précipitations atmosphériques de notre territoire sont abondantes et le classent parmi les régions de France les plus favorisées à ce point de vue.

A l'approche de la montagne et à mesure que l'on s'y élève, les pluies augmentent beaucoup : ce sont des pluies dites de relief.

Progression des pluies annuelles

a) *Bordure méditerranéenne* [1]		c) *Vallée de l'Arre*	
Palavas, 0m	626mm	Le Vigan, 230m	1534mm
Montpellier, 45m	745mm	Arrigas, 860m	1636mm
St-Mathieu, 141m	904mm		
b) *Basses montagnes*		d) *Montagne de l'Aigoual*	
Plateau de Valène, 233m	968mm	Valleraugue, 375m	1657mm
Col de la Cardouille, 317m	1007mm	Aigoual sommet 1567m	2175mm

Les vallées cévenoles reçoivent deux fois, les sommets trois fois la quantité d'eau tombée à Montpellier. Qu'on ne s'étonne donc pas du contraste frappant des deux régions.

Les eaux apportées par le vent du sud ne dépassent guère la

[1]) Années 1873—1888.

ligne de faîte, *derrière laquelle* on constate nettement *un minimum local.* Ainsi Saint-André de Valborgne (422 m.) distant seulement de 9 km. de Valleraugue, mais au nord de la ligne de faîte, note 1132 mm. de précipitations annuelles (7 ans), les deux tiers seulement de la somme constatée à Valleraugue. Saint-Sauveur, à 934 m. sur la péneplaine, reçoit 1366 mm., Trèves (560 m.) un peu en dehors de nos limites, 1044 mm. par an. Les courants atlantiques ont perdu une grande partie de leur humidité dans leur trajet à travers la France occidentale; leur action est peu marquée à l'Aigoual.

Mais *la somme* des pluies reçues ne détermine pas autant la physionomie de notre flore que *la répartition de la pluie suivant les saisons.* Les variations saisonnières de la pluie marquent un régime de transition entre les régimes méditerranéen et atlantique. On y distingue deux périodes de pluies faibles, l'une en été, l'autre en hiver. Les mois de juillet et août sont de beaucoup les plus secs, viennent ensuite janvier et février. La principale saison pluvieuse dure tout l'automne, de la seconde quinzaine de septembre jusqu'en décembre. Un second maximum de pluies tombe au mois de mars. Sur ce point notre climat diffère de celui de la France méditerranéenne où le maximum de printemps tombe au mois de mai.

Répartition annuelle des pluies sur le versant méditerranéen

	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
évennes du Gard	6	5	*10*	7	7	7	3	4	9	*17*	*11*	*14*%
rance méditerranéenne . .	8	7	8	8	*10*	6	3	5	*11*	*14*	*12*	8%

Cette répartition annuelle des pluies nous fait comprendre bien des faits qui sans cela resteraient obscurs. Comment est-il possible par exemple qu'une flore d'un aspect nettement xérophile occupe le pays des plus fortes précipitations atmosphériques de France? Valleraugue et le Vigan reçoivent presque trois fois autant de pluie que la Belgique et malgré cette différence énorme le caractère de la flore belge est bien plus hygrophile que celui de la végétation cévenole. La répartition annuelle de la pluie en est la cause principale!

Dans les vallées méridionales des Cévennes *une saison sèche*

de plus de deux mois vient s'intercaler entre les périodes pluvieuses printanière et automnale. Sous un ciel sans nuages qui permet une radiation solaire très intense, cette période dure en moyenne de la troisième décade de juin au commencement de septembre. La sécheresse, moins destructive que dans la plaine languedocienne, se fait néanmoins fortement sentir, lorsque pendant des mois entiers il ne tombe pas une goutte d'eau, et que la rosée fait à peu près complètement défaut. Les végétaux printaniers se hâtent de produire leurs graines et d'achever leur cycle évolutif; beaucoup d'entre eux n'y parviennent pas et périssent prématurément. Certaines epèces estivales arrêtées dans leur développement par l'absence d'eau se fanent au milieu de leur floraison. Il n'est pas rare qu'en plein été, dans les localités arides, le feuillage des châtaigniers jaunisse et tombe prématurément. Les hêtres aussi vers leur limite inférieure souffrent parfois de la sécheresse excessive et perdent leurs feuilles. Le débit des sources diminue, quelques-unes tarissent complètement.

Voici quelques données précises sur la durée possible des périodes sans pluie.

Au Vigan en 1909 il n'est pas tombé d'eau depuis le 22 juin jusqu'au 16 août (pendant 55 jours); en 1911 du 24 juin au 12 août (49 jours).

La période sèche interrompue par quelques pluies insignifiantes peut se prolonger pendant plusieurs mois. Ce fut le cas en 1906; du commencement de mai à la fin de septembre on n'a compté au Vigan que neuf jours pluvieux, apportant 6,8 cm. d'eau en tout, soit 1,4 cm. par mois.

Les plantes qui ont a supporter des périodes de sécheresse aussi longues doivent nécessairement se protéger par une xérophilie très accentuée, en d'autre termes *la période sèche provoque des adaptations xérophiles les plus variées.*

Les modalités xérophytiques les plus fréquentes sont les feuilles coriaces, fortement cutinisées (chêne vert, *Arbutus Unedo, Phillyrea, Rhamnus Alaternus*, *Smilax, Cistus species,* etc.), la réduction de la surface transpiratoire chez les arbustes à port éricoïde *(Erica, Fumana*, *Thymus vulgaris)* et chez d'autres végétaux (*Spartium junceum, Sideritis montana, Osyris*

alba, etc.), la formation d'une couche plus ou moins épaisse de poils (*Dorycnium, Phagnalon sordidum, Xeranthemum, Teucrium aureum,* Lavandes, etc.), les feuilles sétacées enroulées ou pliées, à stomates inclus *(Stipa juncea, pennata, Aristella)*, la succulence *(Umbilicus*, *Sedum*, *Sempervivum)*, etc.

Les plantes à organes de réserve souterrains et les végétaux monocarpiques sont également représentés par un grand nombre d'espèces.

Sur le *versant atlantique* et sur la *péneplaine* supérieure les pluies tombent *plus régulièrement.* Le régime pluviométrique se rapproche de celui de la France occidentale et centrale, la sécheresse estivale étant bien moins accentuée. Aussi y trouvons-nous une flore de caractère plutôt boréal; les types proprement méditerranéens manquent à peu près complètement.

Répartition annuelle des pluies sur le versant atlantique

	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
-Sauveur	8	5	9	8	8	8	5	4	7	13	12	13%
rance occidentale (1) . . .	9	7	7	7	9	8	7	7	10	11	10	8%

Pour donner une idée exacte de *la quantité absolue d'eau tombée dans chaque mois*, nous ajouterons ici les moyennes des dix années 1902—1912 de quatre stations principales.

a) *Versant méditerranéen*

	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	An
e Vigan, 230m. . .	98	79	163	104	110	113	*34*	*69*	124	*253*	142	243	1533mm
alleraugue, 375m .	103	88	174	110	114	122	*29*	*59*	142	*290*	185	240	1657mm

b) *Etage du hêtre*

igoual, 1567m. . .	155	113	178	146	161	152	*77*	*74*	199	*391*	259	270	2175mm

c) *Versant atlantique*

-Sauveur, 934m . .	108	71	122	115	104	104	*66*	*56*	82	185	159	174	1345mm

d) *Plaine languedocienne*

ontpellier, 40m (2) .	74	43	55	*75*	54	52	*27*	*51*	68	85	*76*	67	726mm

1) Cf. Hann, *l. c.* 1897, p. 133. Entre Poitiers, La Rochelle, Bordeaux et Agen.

2) 1873—1909.

Il n'est pas sans intérêt de faire connaître les plus grandes quantités d'eau tombées dans un temps donné assez court. Les averses produites pendant la saison pluvieuse sont parfois énormes et provoquent des crues formidables. L'Hérault, rivière limpide, devient alors un torrent furieux, arrachant dans son cours supérieur arbres, terre cultivée, emportant parfois même des habitations et dévastant la plaine du bas Languedoc. Les forêts qui pourraient dans une certaine mesure atténuer le désastre en retenant une partie des eaux sont malheureusement encore trop clairsemées sur les pentes méridionales de la montagne. La quantité d'eau tombée pendant les mois de septembre, octobre et novembre peut atteindre et même dépasser la moyenne annuelle. En automne 1907, de triste mémoire pour le midi de la France, il est tombé pendant ces trois mois au Vigan 1503, à Valleraugue 1537 et à l'Aigual 2304 mm. Le mois d'octobre à lui seul a donné 815 mm. d'eau à l'Aigoual et les *six jours du 25 au 30 septembre 711 mm.*, c'est-à-dire *presque autant* qu'il en tombe *dans une année moyenne à Montpellier.*

Il arrive parfois dans les Cévennes qu'à la suite des trombes d'eau les pluviomètres officiels débordent ; on est alors obligé de donner la hauteur de pluie au jugé. Lassalle, village voisin des limites de notre territoire donne ainsi 400 mm. pour la journée du 26 septembre 1907. Le jour suivant (27 septembre 1907) on récoltait à l'Aigoual 255 mm. ; c'est la plus forte pluie réellement mesurée et elle s'est abattue presque entièrement en 4—5 heures seulement ([1]). Ces averses diluviennes contribuent dans une forte mesure à l'érosion, et nous montrent pourquoi le ravinement est beaucoup plus avancé sur le versant méditerranéen que sur le versant atlantique avec son régime pluviométrique plus régulier.

La saison pluvieuse automnale est d'importance capitale pour la végétation. Grâce à elle, bon nombre de végétaux reprennent leur vie active après un repos d'un à plusieurs mois. Ils fleurissent de nouveau et emmagasinent pour l'année suivante des réserves nutritives dans des organes souterrains ou des feuilles en rosette appliquées contre le sol.

[1]) Comm. verb. de M. Flahault.

En même temps une foule de plantules monocarpiques surgissent du sol humide et tiède, contribuant à donner aux vallées méridionales un aspect vert et gai, contraste étrange avec la forêt dépouillée de feuilles et de verdure. Ces petites plantules souffrent peu du froid de l'hiver; elles se développent rapidement au printemps et achèvent leur cycle évolutif au moment où débute la sécheresse. Sans prétendre donner une liste complète, notons ici comme plantes monocarpiques germant vers la fin de la saison pluvieuse en novembre et décembre :

Nardurus Lachenali
Bromus species
Aira species
Cerastium glomeratum
— *brachypetalum*
Arenaria serpyllifolia
Ranunculus parviflorus
Papaver Rhœas
Fumaria officinalis
Cardamine hirsuta
Teesdalea nudicaulis
Hutchinsia petræa
Erophila verna
Crassula rubens
Alchemilla arvensis
Ornithopus perpusillus
Medicago maculata
Lotus angustissimus
Trifolium glomeratum
— *nigrescens*
Geranium rotundifolium
— *columbinum*
Erodium cicutarium
Scandix pecten Veneris
Tordylium maximum
Teucrium Botrys
Galium cruciata
Campanula Erinus, etc.

L'hiver n'est pas une période de repos pour la végétation. Au contraire les petites plantules se développent vigoureusement ; à la fin du mois de février et au commencement de mars beaucoup d'entre elles fleurissent déjà. Venant à cet époque de Montpellier au Vigan, on est surpris d'y trouver la flore printanière aussi avancée que dans la plaine languedocienne. L'abondance d'humidité, l'abri formé par l'espalier des Cévennes équilibrent les différences de latitude et d'altitude ; mieux encore, elles favorisent singulièrement l'hivernage de végétaux délicats, l'hiver y étant moins rigoureux que dans la plaine ouverte à la radiation nocturne et aux vents. A Montpellier au mois de janvier 1914, beaucoup d'oliviers, la plupart des lauriers, des *Smilax aspera*, même le *Ruscus* et le *Quercus*

Ilex ont perdu leurs feuillages par les gelées. Dans les Cévennes aucun de ces végétaux n'avait visiblement souffert.

Les quantités d'eau tombée ne correspondent pas nécessairement à la durée des pluies. Une inversion notable se produit ici entre les stations du versant méditerranéen et du versant atlantique. Tandis que Valleraugue avec 1657 mm. enregistre 81 jours pluvieux, Saint-Sauveur avec 1345 mm. sur le versant atlantique en note 105! Le Vigan (1534 m.) n'a que 61 jours de pluie par an.

Malgré la hauteur de pluie très supérieure du versant méditerrannéen, le ciel y est beaucoup plus clair que de l'autre côté. La proximité de la Méditerranée y exerce ses effets.

Au sommet de l'Aigoual où toutes les pluies de relief se condensent, il y a en moyenne 147 jours pluvieux (Paris 170 jours).

Le nombre des jours pluvieux est en rapport direct avec la nébulosité. La moyenne générale de celle-ci est à l'Aigoual de 5,3, à St-Sauveur de 4,6. au Vigan de 3,4. Valleraugue note 2,7 seulement, comme la plaine languedocienne (Nîmes 2,7), évidemment à cause de son horizon très restreint.

La variation annuelle de la nébulosité suit le régime des pluies. Les mois de juin, juillet, août d'une part, janvier et février de l'autre, ont le ciel le plus constamment clair. Octobre, novembre et décembre sont à la fois les mois les plus humides et les plus sombres. Comme dans les Alpes, la ligne de faîte marque une limite nette entre le versant sud inondé de soleil et le versant nord nuageux et froid. Que de fois avons-nous vu les masses compactes de nuages et de brouillards poussés par le vent du nord-ouest arriver jusqu'au bord du bassin de l'Hérault, se résoudre et disparaître rapidement comme absorbés par l'air sec du midi.

La *nébulosité moyenne* est :

Sur le versant *sud* au Vigan :

Printemps	Eté	Automne	Hiver
40	35	23	38 %

Sur le versant *nord* à Saint-Sauveur :

Printemps	Eté	Automne	Hiver
50	33	50	51 %

L'observatoire de l'Aigoual nous fournit seul des données sur la fréquence du brouillard, le nombre des jours sans soleil, la durée de l'insolation et l'état hygrométrique de l'air.

Moyenne des journées de brouillard à l'Aigoual, 1567^{m} (1904-1912)

Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	An
20	21	22	20	18	17	14	15	18	23	21	21	230

L'étage supérieur du hêtre, dans lequel sont cantonnés la plupart des végétaux alpins ou subalpins, a donc, même pendant les mois secs de l'été, des brouillards fréquents. Si faibles qu'ils soient, ils parviennent toujours à atténuer la grande sécheresse.

Moyenne des journées sans soleil à l'Aigoual (1904-1912)

Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	An
11	9	8	7	6	4	2	2	5	12	11	15	92

Durée moyenne de l'insolation à l'Aigoual (1904-1911; 8 années) et à Montpellier (1883-1888; 6 années)

	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	An
Aigoual (1567^{m}).	134	113	114	167	198	233	300	288	192	124	96	73	2032^{h}
Montpellier (40^{m})	123	103	178	169	244	263	292	294	200	170	110	101	2285^{h}

L'insolation est très faible pendant tout l'automne. Le mois de janvier par contre a plus de soleil que les mois d'octobre, novembre, décembre, février et mars. En novembre 1910 la durée totale de l'insolation s'est limitée à 12 heures ; pendant 27 jours le soleil ne s'est pas montré. Ajoutons cependant que peu au dessous du sommet à l'Hort-de-Dieu (1300 m.) la nébulosité est déjà beaucoup moindre. La calotte de brouillard reste souvent localisée sur le plus haut sommet.

Des chiffres donnés pour la nébulosité et le nombre des journées sans soleil nous pouvons déjà conclure que la saturation de l'air, *l'état hygrométrique,* est très élevé à l'étage supérieur.

Moyenne hygrométrique à l'Aigoual (1907-1912; 6 années; hygromètre enregistreur)

Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	An
0,76	0,78	0,85	0,80	0,77	0,80	0,72	0,68	0,76	0,86	0,82	0,88	0,79

Comme à Montpellier, le minimum d'humidité s'observe ici en juillet et août; le maximum à l'Aigoual en décembre, à Montpellier en janvier. La moyenne annuelle à 9 h. du matin pour Montpellier est de 0,68.

Un certain rapport existe entre l'humidité de l'air et la flore épiphyte.

Sous un climat sec, les épiphytes sont peu nombreux ; dans les pays à état hygrométrique élevé leur nombre augmente pour acquérir une importance capitale dans les régions à la fois humides et chaudes.

Dans le midi de la France ils deviennent plus fréquents à mesure que l'on approche des condensateurs montagneux. L'Aigoual, dans sa partie moyenne et supérieure est riche en épiphytes cryptogames et phanérogames. Le châtaignier, l'arbre le plus propice à leur développement porte souvent de petites colonies du *Polypodium vulgare* qui s'élèvent jusqu'à la couronne de ces vieux patriarches entièrement couverts de mousses ([1]) et de Lichens.

Quelques mots encore sur la *neige* et ses rapports avec la flore de nos montagnes. Les chutes de neige à l'Aigoual se répartissent assez irrégulièrement sur une grande partie de l'année. Les observations enregistrent des chutes de neige même pour les mois de juin, juillet et septembre. Août seul semble être complètement à l'abri de la neige.

Jours de neige à l'Aigoual (1902-1912)

Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	An
10	10	12	9	4	0	0	0	0	2	7	12	67

Les chutes de neige sont les plus fréquentes en décembre et mars. Avril compte plus de jours neigeux que novembre, mai plus que octobre. S'il neige par le vent du sud où de l'ouest, la neige tombe en gros flocons lourds, qui s'attachent facilement aux branches. C'est de la neige de cette nature qui tombe habituellement dans les basses vallées et dans la plaine méditerranéenne, causant parfois des dégâts considérables. Si la

[1]) Surtout par le *Leucodon sciuroides* (L.).

neige est apportée par le nord ou le nord-ouest, elle est d'une consistance poudreuse, fine, sèche et légère. Le vent s'en empare et la fait tourbillonner, déblayant les crêtes exposées, l'amassant dans les creux, les dépressions et derrière les brise-vent quelconques. Les amas de neige entassés dans les combes du versant sud et ouest de la crête du Grand Aigoual peuvent atteindre une épaisseur énorme; ils y séjournent quelquefois jusqu'au milieu du juillet. Des plantations de pins de montagnes ne prospèrent guère dans les endroits où la neige s'accumule habituellement; beaucoup de jeunes arbres étouffent et périssent aussi bien que sur les crêtes déblayées par les vents.

Cette répartition très inégale de la neige est une des causes principales qui favorisent le maintien de quelques végétaux alpins ou subalpins.

Les amas de neige retardent beaucoup le développement de la végétation qu'ils couvrent; ils constituent en même temps des réservoirs d'eau et alimentent des sources. Dans les creux de neige plusieurs espèces franchement alpines d'exigences hygrophiles (*Epilobium alpinum, E. alsinefolium, Alchemilla demissa, Polytrichum juniperinum,* etc.) trouvent des conditions de vie favorables.

Au Vigan et dans les parties basses de nos vallées méditerranéennes, il neige rarement et la neige ne persiste pas. Vers la limite supérieure du chêne vert, branches cassées et troncs tordus trahissent l'influence croissante de la neige, qui elle aussi est en quelque sorte déterminant pour la délimitation de la végétation méditerranéene à feuilles persistantes.

B. *La température.*

Nous sommes encore loin de bien connaître les relations multiples entre la chaleur et les phénomènes vitaux de la plante. Les méthodes employées pour résoudre le problème (sommes de température, etc.) sont insuffisantes à l'égard d'un phénomène aussi complexe, aussi élastique que la température. On parle par exemple d'un zéro spécifique (cf. Gain, l. c. 1908, p. 20) moyen très simple — parait-il — pour expliquer l'entrée en végétation d'une espèce donnée. Ce zéro spécifique serait 9° pour

le bouleau, 5° pour le blé, 2° pour les saxifrages alpines. Mais dès qu'on y regarde de près, la chose se complique et la solution se dérobe ; s'agit-il là de la température de l'air, du sol, de la chaleur absorbée par la plante même ?

L'entrée en végétation dépend d'ailleurs non seulement de la température, mais aussi de la nature et de l'humidité du sol, du mouvement de l'air et surtout de l'état intérieur, de la disposition de l'individu. Les saxifrages, soldanelles, etc. commencent à végéter déjà sous la couverture de neige, pourvu qu'il y ait de l'eau liquide ; tandis que sur les crêtes déblayées par le vent les mêmes epèces, exposées aux rayons solaires restent encore en état de repos.

Pour donner au moins une idée générale des possibilités de vie et aussi pour faciliter les comparaisons entre contrées voisines, il est indispensable de consigner ici quelques renseignements relatifs à la température, tels qu'ils nous été transmis par les météorologistes. A défaut d'observations sur la température du sol et sur l'insolation, dans les Cévennes nous nous bornerons à la température de l'air.

Voici les *moyennes mensuelles et annuelles* déduites des maxima et minima [1] de quatre stations :

	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	An
Le Vigan, 230m . .	4.7	5.7	8.2	11.3	14.3	18.3	21.4	20.6	16.0	13.1	8.5	6.1	12.4°
Valleraugue, 375m .	3.1	4.1	6.6	10.3	14.2	17.4	19.1	20.3	15.2	11.6	6.9	4.8	11.0°
St-Sauveur, 931m . .	-0.1	0.1	2.3	5.3	10.4	15.0	18.2	18.5	13.5	9.3	4.4	1.5	8.2°
Aigoual, 1567m . .	-2.8	-3.8	-2.2	0.7	5.6	9.3	11.7	12.5	8.2	4.7	0.4	-1.2	3.7°

Le Vigan, jouissant d'une situation exceptionnelle à l'abri des vents et exposé en plein midi, montre une courbe de température

[1]) Les moyennes déduites des maxima et des minima absolus de chaque jour sont toujours un peu trop élevées par rapport aux moyennes que donnerait les observations horaires (cf. Angot, l. c. 1899 ; Hann, l. c. 1897). La différence varie entre 0.3 et 1°, elle est plus grande en été qu'en hiver. D'après Angot on obtient la moyenne vraie en retranchant de la moyenne des maxima et des minima le vingtième de leur différence. A Paris et dans les climats analogues, il suffit de retrancher 0.5° de la moyenne des maxima et des minima pour obtenir des résultats assez précis. Nous avons appliqué les deux méthodes pour un certain nombre d'années et nous avons pu constater leur concordance générale. Toutes les moyennes de température données ici ont été calculées d'après les minima et les maxima en retranchant 0.5°

qui le relie aux stations de la basse vallée du Rhône (Valence 12,6°, Carpentras 13,2°). Le nombre considérable d'espèces méridionales qui croissent dans la contrée prouve d'une façon plus certaine encore que nous sommes ici au seuil de la région méditerranéenne.

Valleraugue, situé 150 m. plus haut dans un vallon étroit, se rapproche de Lyon par sa température (Lyon : janvier 2.4, avril 11,8, juillet 21.2, octobre 11.7, an 11.5°). Pourtant l'hiver à Valleraugue est moins rigoureux que dans le bassin ouvert du Rhône et la flore y présente un aspect bien plus méditerranéen. *Quercus Ilex, Arbutus Unedo, Phillyrea media* et d'autres végétaux sclérophytes abondent et l'olivier y mûrit ses fruits. Sans aucun doute le climat local dont jouissent ces végétaux sur les déclivités abruptes exposées au sud et abritées contre le vent froid est tout à fait privilégié ; la chaleur biologique y est certainement bien supérieure à celle enregistrée par la station météorologique.

La température moyenne de Saint-Sauveur sur le versant atlantique correspond aux chiffres données pour le plateau suisse (Zurich 8.5°). L'ensemble de la végétation (forêts de hêtres et pins sylvestres et, plus bas, taillis de chênes blancs) présente en effet beaucoup de ressemblance avec la plaine suisse.

L'observatoire de l'Aigoual à 1567 m. qui donne une moyenne annuelle de 3.7°, se rapproche par sa température du Mont Ventoux 1900 m. (an 2.3°), situé à peu près sous la même latitude.

On divise généralement les climats en climats marins, continentaux et moyens. Dans un climat moyen la différence des températures moyennes entre le mois le plus froid et le plus chaud ne dépasse pas 20° et n'est pas inférieure à 10°. A ce régime moyen ou modéré appartient tout le centre de la France y compris le massif cévénol.

Il y a pourtant une différence considérable dans la marche de la température entre nos vallées méridionales et la péneplaine. L'hiver à Saint-Sauveur est de beaucoup plus froid qu'au Vigan ou à Valleraugue, tandis que les chiffres des mois d'été (juillet-septembre) s'écartent peu malgré une différence d'altitude de 600 à 700 m. Les petits Causses du versant nord de la chaîne

de faîte ne bénéficient plus du vent chaud du midi qui imprime à l'hiver du versant sud sa douceur caractéristique. Malgré le régime atlantique, leur climat, modifié par la configuration du relief et leur situation centrale, présente déjà un caractère plus continental : des pluies moins abondantes, des températures excessives. La moyenne du mois d'août est de 18.5° à Saint-Sauveur, de 20.3° à Valleraugue et de 20.6° au Vigan ; la moyenne du janvier à Saint-Sauveur est de —0.1°, à Valleraugue 3.1°, au Vigan 4.7°.

Bien plus significatives encore sont les *moyennes des maxima* et des *minima absolus,* dont voici les chiffres :

	Le Vigan	Valleraugue	St-Sauveur	Aigoual
Maxima . .	32.0	29.5	32.4	24.7°
Minima . .	- 6.6	- 5.4	-12.5	-16.1°
Ecart . . .	38.6	34.9	44.9	40.8°

Entre les deux stations voisines Valleraugue dans une vallée méditerranéenne et Saint-Sauveur sur la péneplaine l'amplitude des maxima et des minima diffère de 10° !

Mais qu'on se garde de généraliser ces faits. Nous savons fort bien que la région méditerranéenne française, notamment la plaine du Languedoc, possède un climat excessif ; les écarts de Saint-Sauveur y sont atteints et même dépassés. A Montpellier, par exemple, l'écart moyen est de 45.5° (1873—1909), à Perpignan de 39.6° (M. Mengel in litt.).

La marche plus régulière de la température dans les vallées méridionales de notre massif est déterminée par des conditions purement locales. Parmi les facteurs égalisateurs figurent l'abondance des pluies et la nébulosité plus forte ; mentionnons aussi la situation des postes d'observation dans des vallons profonds à l'abri des grands courants d'air, moins exposés au rayonnement.

Voici les extrêmes absolus pendant la période 1902-1912 :

	Aigoual	St-Sauveur	Valleraugue	Le Vigan	Montpellier	Perpignan (M. Mengel)
Maxima	26.6	36.0	32.5	41.0(?)	42.9	38.3°
Minima	-21.6	-16.5	-10.0	-11.5	-12.8	- 8.5°

Les températures les plus basses surviennent généralement en janvier, quelquefois même en février. Décembre est sensible-

ment plus chaud à l'Aigoual que mars, tandis que, dans les vallées, au Vigan et à Valleraugue, les températures de mars et de novembre sont à peu près égales.

M. Hann (l. c. 1897, III, p. 125) appelle l'attention sur une anomalie curieuse de la répartition annuelle de la chaleur, qui se produit dans tout l'ouest et le sud-ouest de la France. Dans toute cette région, le mois le plus froid est décembre et non pas janvier. Les Cévennes, participent-elles encore à cette anomalie du climat atlantique ? Non ! Pour toutes nos stations, les moyennes de janvier et de février restent inférieures à la moyenne de décembre : effet de la proximité du bassin méditerranéen. On perçoit facilement l'avantage de cette répartition pour la végétation de l'étage supérieur où les grandes neiges qui protègent sol et végétation ne tombent presque jamais avant Noël.

Un autre phénomène remarquable, qui est sans doute une des causes de la localisation étroite de beaucoup d'éléments méditerranéens sur les flancs un peu élevés de nos vallées ; c'est l'inversion de la température avec l'altitude pendant la période froide. Le fond et les replats alluviaux des vallées ont un climat hivernal bien plus rigoureux que les pentes supérieures et les plateaux élevés. Après des nuits claires on voit souvent les prés des bas-fonds couverts d'une couche de gelée blanche qui persiste assez avant dans la matinée. Les pentes avoisinantes supérieures au niveau du thalweg souffrent moins de la gelée, elles s'échauffent plus vite le matin et ne se refroidissent pas autant la nuit. Grâce à ces différenciations du climat local, des espèces purement méditerranéennes et des types boréaux et montagnards *(Centaurea nigra, Chaerophyllum hirsutum, Narcissus Pseudo-Narcissus, Geranium nodosum, Heracleum Lecoqui,* etc.) prospèrent côte à côte, les premières sur les flancs, les secondes dans le bas des vallées et le long des rivières, où non seulement les conditions climatiques, mais aussi le sol toujours frais, leur sont plus favorables. Les cultures mêmes reflètent en quelque manière le phénomène énoncé. Sur le terrain alluvial s'étalent des prairies d'une verdure exubérante ; les gradins échelonnés abritent l'olivier, la vigne et les légumes du midi.

Les données climatiques dont nous disposons ne permettent pas une appréciation exacte de l'inversion hivernale de la température. Nous avons néanmoins pu établir quelques faits intéressants.

Les moyennes des minima de novembre et de décembre à Blandas[1] (655 m.) sont supérieures aux mêmes moyennes au Vigan (230 m. s. m.).

Moyennes des minima (1907-1912)

	Novembre	Décembre
Blandas, 655m	4.7	3.5°
Le Vigan, 230m . . .	4.0	3.3°

Il arrive que Blandas, malgré sa situation plus élevée de 425 m., note des températures matinales de 5 à 6° au-dessus de zéro lorsqu'il y a de la gelée blanche dans la vallée de l'Arre.

Minima à 7 heures du matin

	25 nov. 1909	30 déc. 1911	25 nov. 1912
Blandas, 655m. . .	+ 0	+ 6.2	+ 5.8°
Le Vigan, 230m . .	- 3	0	- 3°

On peut constater une inversion relativement plus grande entre Valleraugue et le sommet de l'Aigoual; mais cette inversion ne persiste jamais des mois entiers. Elle apparaît généralement pendant quelques jours du mois de janvier, surtout lorsque le brouillard couvre la vallée de l'Hérault. En voici un exemple :

Moyenne des maxima et des minima du 18 au 27 janvier 1911

	Maxima	Minima
Valleraugue, 375m . . .	4.9	- 2.7°
Aigoual, 1567m	7.1	+ 1.6°

L'Aigoual, à une altitude supérieure de près de 1200 m. à celle de Valleraugue, eut pendant cette semaine une moyenne de température qui dépassait de 3°,3 celle de Valleraugue.

[1]) Non loin du Vigan, au sud sur le Causse voisin de Blandas.

Certains jours des différences plus considérables encore ont été constatées. Ainsi le 17 février 1908, la moyenne était à l'Aigoual 7°,5, à Valleraugue seulement 1°,7 ; le 4 janvier 1910 à l'Aigoual 9°, à Valleraugue 1°,2. L'explication du phénomène de l'inversion de la température est trop connue pour que nous ayons à y revenir.

C. *Les mouvements de l'atmosphère.*

Nous possédons relativement peu de données précises concernant la circulation atmosphérique. Les bulletins de la Société météorologique du Gard ne donnent que le vent dominant et sa force moyenne mensuelle (échelle $^1/_{10}$). L'influence directe du vent sur la végétation et les relations étroites entre le régime des vents et la pluviosité nous déterminent à lui consacrer un chapitre à part. Nous croyons cependant pouvoir négliger ici la discussion purement théorique des causes et de l'origine des vents.

Le vent dominant est la « bise », le nord-ouest sec et froid, il assure un temps clair et stable. A l'état de mistral il s'engouffre, surtout au premier printemps, dans les vallées méridionales des Cévennes pour déboucher avec une fougueuse impétuosité sur les plaines littorales.

Au contraire le vent du sud et sud-est, le « marin » ou « l'autan », saturé d'humidité qui se condense à l'approche de la montagne, apporte des masses d'eau. Il s'abat en averses parfois diluviennes sur les pentes méridionales de nos Cévennes. C'est pendant les périodes de vent du sud que se produisent les inondations désastreuses dans le bas Languedoc.

Le vent de l'ouest « aouro basse » ou « traverse », moins fréquent que les deux premiers, ayant perdu beaucoup de son humidité pendant le long trajet à travers la France occidentale, apporte des pluies fines mais persistantes. Les dernières bourrasques atlantiques semblent expirer à l'Aigoual. Que de fois avons-nous observé des nuages chargés de pluie butter contre le flanc occidental de la montagne, tandis que le soleil brillait à l'Orient !

Durée moyenne des vents dominants

	N., NW.	S., SE.
Aigoual, 1567m. .	8.7	3.1 mois
St-Sauveur, 934m .	9.5	2.2 »
Blandas, 655m . .	9.9	2.1 »

Cette répartition des vents dominants donne une idée juste du mouvement général de l'atmosphère, les postes d'observation étant situés de façon que tous les vents ont accès libre.

Les stations du Vigan et de Valleraugue, encaissées dans des vallées profondes, ont une rose des vents différente ; la direction du thalweg fait dévier les grands courants de l'air et atténue leur vitesse. Ainsi dans la vallée supérieure de l'Hérault, par exemple, un courant local nord-sud, de faible intensité, se substitue au régime général.

Durée moyenne des vents dominants

	N., NW.	S., SE.
Valleraugue, 375m .	11	1 mois
Le Vigan, 230m . .	8.2	3.8 »

Dans la *répartition saisonnière* des vents nous constatons une prédominance des vents du sud pendant l'automne, la période pluvieuse. Pendant le reste de l'année, le nord et le nord-ouest dominent.

Participation des vents dominants à l'Aigoual, en %

	N., NW.	S., SE.
Automne	46.5	53 5 %
Eté	83.5	16.5 %

Avec l'altitude, la vitesse du vent augmente, elle dépend d'ailleurs énormément de la situation topographique d'un endroit. Valleraugue et le Vigan, protégés de tous côtés par des murailles montagneuses, notent une force moyenne faible (1,3). Blandas sur le plateau du Causse, à 665 m., donne 2, Saint-Sauveur à 934 m. sur la péneplaine 2,1, le sommet de l'Aigoual (1567 m.) 2,7 de vitesse moyenne.

Aussi l'action des vents sur la végétation n'est-elle nulle part

plus visible que sur les crêtes supérieures de la montagne, exposées à toutes les intempéries.

Pendant l'hiver surtout les bourrasques développent toute leur violence. A l'Aigoual la force moyenne du vent pendant les mois d'hiver (décembre-février) s'élève à 3,2 ; elle n'est que 2,1 en été (juin-août). Une vitesse de 40 m. par seconde n'est pas chose extraordinaire ; on a enregistré 46 m. par seconde (comm. verb. de M. Giraudel). En 1912, lors d'une tempête furieuse, le vent violent a enfoncé la lourde porte ferrée de l'observatoire. Ajoutons comme terme de comparaison que la vitesse maxima du vent observée à Montpellier pendant la série 1883-1888 était 28 m. par seconde (moyenne de dix minutes). Mais la vitesse a dû atteindre et même dépasser 30 m. à la seconde pendant quelques instants de l'observation.

Les manifestations du vent sur la végétation des crêtes supérieures ne sauraient être méconnues.

A la limite supérieure de la forêt le hêtre prend souvent un aspect rabougri, le tronc appliqué contre le sol imite le mode de croissance du pin couché des Alpes. Les quelques vieux arbres au-dessus de la forêt continue présentent tous la forme de girouette (Windfahnen-Form). Leurs cimes basses, orientées dans la direction du vent dominant (nord-ouest-sud-est) sont inclinées, presque unilatérales à cause de l'avortement des branches du côté du vent.

Sur les sommets les plus élevés la végétation arbustive fait complètement défaut et les plantations exécutées depuis 40 ans y donnent de piètres résultats.

Partout où le nord-ouest a libre accès, les jeunes plants sont détruits au bout de quelques années. Même là où une couche de neige les protège ils ne tardent pas à dépérir dès que leur sommet dépasse la neige. On constate très fréquemment des fractures et lésions provenant du froissement des branches et de l'action ulcérante des cristaux de neige. Ces faits se voient avec une grande netteté sur un peuplement de pins de montagne au Col de Trépaloux (1500-1550 m.).

L'action physiologique du vent desséchant les jeunes pousses se fait bien moins sentir que l'action mécanique. Aussi le pin de montagne, l'essence principale employée pour le reboise-

ment, semble comme le hêtre peu influencé par l'action desséchante des vents.

Près du sommet de l'Aigoual, l'occasion se présente d'observer un phénomène d'érosion provoqué par le vent et connu sous le nom de « Windanriss ». Dans un travail antérieur nous avons décrit ce phénomène dans ses détails (l. c. 1913). Rappelons ici que des trous dûs au piétinement de troupeaux sont les points d'attaque du démantèlement. Par sa force mécanique, le vent sape peu à peu le tapis végétal, émiettant la couche d'humus et déracinant les plantes. Les touffes compactes de *Nardus stricta* et de *Festuca rubra fallax* résistent le plus longtemps : le progrès du creusement est d'ailleurs assez lent et bien moins accusé que dans les Alpes.

Un point très exposé au nord-ouest, presque constamment déblayé de neige en hiver, est la croupe du Pic de la Fajeole. C'est ici que le *Juncus trifidus,* très résistant à l'action des cristaux de neige, domine sur tout autre végétal. Grâce à ces conditions exceptionnelles de station il a pu s'y maintenir et se répandre, malgré le pâturage formant un tapis presque continu au milieu d'une flore ubiquiste. La plupart des touffes du *Juncus* portent les traces du vent ; à moitié rabotées elles sont déformées par le frottement des cristaux de neige.

(A suivre.)

COMPTE RENDU DES SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ DE PHYSIQUE ET D'HISTOIRE NATURELLE

DE GENÈVE

Séance du 3 décembre 1914

Arnold Pictet. Sur le prétendu hydrotropisme et géotropisme chez les Insectes.

M. Arnold Pictet. — *Sur le prétendu hydrotropisme et géotropisme chez les Insectes.*

Nous avons vu [1] que les réactions des Insectes vis-à-vis de la température (sauf dans les cas de sommeil hivernal) les orientent toujours vers des conditions favorables au maintien de leur existence. Cette orientation est dirigée par des *sensations* de chaud et de froid que l'animal accepte ou repousse suivant qu'elles sont conformes ou non à ce que requiert son ontogénie. Les Insectes *recherchent* donc volontairement les conditions favorables de température.

C'est à une recherche volontaire de l'humidité que l'on doit attribuer un grand nombre de cas dans lesquels on serait tenté de voir des phénomènes d'*hydrotropisme*.

Beaucoup de Lépidoptères, lorsqu'ils volent, par exemple au dessus d'une route absolument desséchée, s'arrêtent et descendent sur le sol, si, à cette place, se trouve un centre humide, telle une flaque d'eau en partie évaporée : on les voit alors survoler cette place, effectuer autour d'elle un vol spiralé descendant qui les amène à se poser sur elle et à s'y désaltérer. Ainsi agissent beaucoup de Nymphales et la plupart des espèces du genre *Lycaena*.

[1]) Arnold Pictet, Réactions thermotropiques chez les Insectes. *Arch. sc. phys. et nat.* 1914, t. XXXVIII, p. 434.

La façon dont ces Insectes se dirigent vers la source d'humidité semble répondre à la définition de l'hydrotropisme. Les observations suivantes faites avec plusieurs espèces de *Lycaena* montrent qu'il s'agit là d'une recherche volontaire. Ces Papillons sont également connus pour se livrer à de grands rassemblements d'individus de même espèce sur une espace restreint.

Première observation (Brides-les-Bains, en Savoie). *Lycaena icarus, damon, corydon.* Un chemin bordé d'un côté par la rivière et de l'autre par une falaise, accompagné de prairies et de buissons, s'étend sur un espace d'environ trois kilomètres en conservant à peu près la même orientation par rapport au soleil. Il a plu la veille, en sorte que le chemin est parsemé, de distance en distance, de flaques d'eau en partie desséchées, à 200 m. environ les unes des autres, tandis que tout le reste du chemin est absolument sec. En parcourant celui-ci, je remarquais que les deux premières places humides que je rencontrais ne comportaient pas le rassemblement habituel de *Lycaena* que tout entomologiste est sûr de rencontrer dans de pareilles conditions ; mais la troisième place humide était couverte d'une multitude de ces Insectes, serrés les uns contre les autres.

Je continuais mon chemin et passais auprès de plusieurs centres d'humidité, semblablement exposés aux premiers et ne comportant aucun rassemblement, avant d'en trouver de nouveau un sur lequel fut posée une importante cohorte de Lycènes ; puis je traversais encore plusieurs places empreintes d'eau qui étaient absolument désertes. Sur une dizaines de centres d'humidité espacés sur ce chemin découvert, et tous orientés de la même façon, trois seulement avaient provoqué un rassemblement d'Insectes, sans que je pusse trouver à ces trois places un motif attractif spécial n'existant pas aux sept autres.

Deuxième observation (Steinenalp Simplon). *Lycaena orbitulus.* Cette alpe s'étend sur le flanc d'une colline et mesure trois kilomètres environ à sa base, qui est limitée par un torrent créant plusieurs petites berges sabloneuses. J'avais remarqué un jour que cette alpe donnait asile à une immense quantité de *Lycaena orbitulus*, dont on levait plusieurs à chaque pas. Deux jours après, étant retourné au même endroit, quelle ne fut pas ma surprise de constater qu'il n'y avait pas le moindre individu de cette espèce sur toute l'étendue de l'alpe ; mais j'en trouvais une formidable quantité rassemblée sur une des petites grèves créée par le torrent, mais *sur une seule d'entre elles*, bien qu'elles fussent toutes orientées sensiblement de la même façon ; les autres étaient désertes.

Il convient de remarquer que pour se rendre aux trois places humides, les seules qui aient été visitées dans le premier des cas

signalés, un grand nombre de *Lycaena* ont dû survoler ou cotoyer les places semblables non visitées; les Insectes ont eu en conséquence la faculté de passer outre pour se rendre au lieu de rassemblement. Nous faisons la même remarque pour l'observation à Steinenalp. Le choix de la place humide n'est donc pas dû à un phénomène d'hydrotropisme, mais à une recherche d'humidité dans certaines conditions.

Réactions vis-à-vis de la pesanteur. Presque tous les Insectes ont, au moins une fois dans leur vie, à entrer en contact avec la surface du sol, soit pour s'y cacher en vue de l'hivernage, soit pour y trouver de l'humidité, soit encore pour s'y enterrer en vue de la métamorphose en nymphe. Les expériences que nous avons entreprises avec certaines chenilles qui se chrysalident en terre montrent encore qu'il s'agit d'une véritable recherche, par l'animal, de conditions avantageuses et non pas de phénomènes de *géotropisme.*

1. Au moment de la nymphose les chenilles descendent sur le plancher de leur cage d'élevage, qui ne contient pas trace de terre; elles parcourent le plancher dans tous les sens, explorent les coins, puis *remontent* le long des parois pour aller chercher au plafond ; elles agissent ainsi jusqu'au moment où le début de l'histolyse, supprimant toute activité musculaire, les force à tomber sur le plancher, où elles se chrysalident.

2. Si l'on place, sur le milieu du plancher de la cage, un vase rempli de terre, la plupart d'entre elles arrivent à découvrir celle-ci en *grimpant* le long des parois du vase. Le même fait se présente lorsqu'on suspend le vase, à une certaine hauteur, au plafond de la cage.

3. Les chenilles de *Vanessa urticæ,* au moment de la métamorphose, se suspendent la tête en bas, par leurs pattes anales. En les plaçant dans un petit tube de verre la tête en haut, ou horizontalement sur le fond d'un cristallisoire, la métamorphose se fait quand même. Le développement des chrysalides et l'éclosion des Papillons, dans ce cas, ne souffrent pas de ces changements de position.

4. Certaines chenilles descendent sur le sol, en automne, pour se cacher sous la mousse et les feuilles sèches, en vue de l'hibernation *(Macrothylacia rubi, Dendrolimus pini).* On place à une certaine distance au-dessus du plancher d'une cage d'élevage un grillage supportant des feuilles sèches ; les chenilles sont disposées sur le plancher, c'est-à-dire au-dessous du grillage; elles ne tardent pas à se dresser et à pénétrer au travers de celui-ci, pour s'enfouir à l'intérieur des feuilles qui sont au-dessus d'elles.

Dans les cas 1, 2 et 4 l'orientation vers les conditions favorables n'est pas due à un phénomène de géotropisme, mais est volon-

taire et guidée vraisemblablement par la sensibilité de l'odorat. Dans le cas 3, la désorientation de l'animal du sens des lignes de force de la pesanteur n'empêche pas le développement normal.

Séance du 17 décembre

J. Carl. Sur une larve d'Orthoptère du type « Myrmecophana ». — Ch.-Eug. Guye. A propos des sous-électrons. — A. Schidlof et A. Karpowicz. Résultats des expériences faites avec des gouttes de mercure en vue d'une détermination de la charge de l'électron.

Dr J. Carl. — *Sur une larve d'Orthoptère du type « Myrmecophana ».*

L'auteur a découvert parmi les Phanéroptérides non classés du Muséum de Genève une forme aptère provenant de Rio Grande do Sul, Brésil méridional. Cet insecte aurait été considéré autrefois comme une espèce du genre *Myrmecophana* Br. (type : *M. fallax* Br.). Or, Vosseler [1] a démontré que *M. fallax* Br. n'est autre chose que la jeune larve d'une *Eurycorypha* qui, jusqu'à la troisième mue, vit en société des fourmis dont elle imite les formes et les mouvements. Le genre *Eurycorypha* n'étant pas connu de l'Amérique méridionale, la larve myrmecoïde du Brésil doit correspondre à un autre genre de Phanéroptérides, que l'observation directe ou l'élevage seuls permettront de déterminer. Il est donc intéressant de constater que deux genres de cette famille — l'un africain, l'autre américain — se sont adaptés indépendamment l'un de l'autre dans leur premiers stades larvaires à la société des fourmis, et que ces jeunes larves ont acquis par convergence myrmecoïde une très grande ressemblance. La larve du Brésil ne semble différer de la larve africaine décrite par Brunner que par des caractères de coloration, le pronotum et les quatre premiers segments de l'abdomen étant entièrement jaunes, tout le reste du corps et ses appendices d'un bleu métallique.

M. Ch.-Eug. Guye. — *A propos des sous-électrons.*

On sait que les physiciens admettent actuellement que tous *les électrons sont identiques* et que les valeurs que l'on attribue à la charge ε et à la masse μ de l'électron ne doivent pas être envisagées comme des moyennes statistiques.

[1]) *Zool. Jarh. Abt. f. Syst.* Bd. 27, 1909.

Dans le cas des électrons qui constituent les rayons cathodiques cette identité peut se déduire des considérations suivantes :

A la condition d'alimenter le tube cathodique par une source de potentiel constant (machine électrostatique, par exemple), le faisceau dévié par un champ magnétique H n'éprouve pas de dispersion appréciable. On en conclut avec raison que tous les électrons ont à la fois même vitesse v et même rapport $\frac{\varepsilon}{\mu}$ [1].

D'autre part les expériences effectuées sur des électrons isolés ou en petit nombre (Millikan) ont conduit à l'identité des charges ε. Il en résulte donc immédiatement, dans le cas des rayons cathodiques, l'identité des masses μ généralement admise.

Mais dans des travaux récents, M. Ehrenhaft, à la suite d'expériences que l'on ne peut accepter sans quelques réserves, arrive à un résultat bien surprenant. Selon cet auteur, la charge de l'électron pourrait varier d'un électron à l'autre suivant les conditions de l'expérience.

Le but de cette note est de mettre en évidence l'une des conséquences qui résulteraient de cette manière de voir dans le cas particulier des rayons cathodiques ou de toute autre expérience dans laquelle on constate la constance du rapport $\frac{\mu}{\varepsilon}$.

La conséquence immédiate de la non identité des charges serait que la masse de chaque électron devrait rester proportionnelle à sa charge. Or, cette masse ayant pour expression

$$\mu = \frac{2}{3}\frac{\varepsilon^2}{a} \tag{1}$$

(électron en surface de rayon a) ou

$$\mu = \frac{4}{5}\frac{\varepsilon^2}{a}$$

(électron en volume), il résulte de la condition $\frac{\varepsilon}{\mu}$ = constante que le *rayon de l'électron doit toujours être proportionnel à la*

[1]) On a en effet pour l'expression du potentiel de décharge et du rayon de courbure du faisceau dévié les deux relations connues

$$U = \frac{1}{2}\frac{\mu}{\varepsilon}v^2 \qquad \varrho = \frac{U}{\varepsilon}\frac{v}{H}$$

qui pour U, H et ϱ constants entraînent les deux conditions

$$v = \text{constante} \qquad \frac{\varepsilon}{\mu} = \text{constante}$$

charge. Dans ce cas, tous les électrons du faisceau cathodique suivront encore la même trajectoire ainsi que le constate l'expérience. Mais cette interprétation se heurte à une nouvelle difficulté.

M. Poincaré, pour expliquer la contraction qu'éprouveraient les corps dans le sens de la vitesse (Lorentz) a supposé, comme on sait, l'existence d'une pression *constante* de l'éther sur l'électron ; c'est cette pression de l'éther qui ferait équilibre à la pression électrostatique, plus ou moins modifiée par les forces électromagnétiques et électrostatiques dues au mouvement de l'électron ; c'est elle qui déformerait l'électron comme le veut la théorie.

Dans le cas des électrons de faible vitesse, cette pression p de l'éther, égale à la pression électrostatique a pour valeur $\frac{2\pi\sigma^2}{K}$; σ étant la densité électrique de l'électron en surface, K le pouvoir inducteur spécifique. En remplaçant σ par sa valeur $\frac{\varepsilon}{4\pi a^2}$ on a :

$$p = \frac{\varepsilon^2}{3\pi K a^4} \qquad (2)$$

On voit par cette formule que *le rayon de l'électron doit toujours être proportionnel à la racine carrée de sa charge*. La variation du rayon a de l'électron ne peut donc pas satisfaire simultanément les équations (1) et (2) et la seule hypothèse possible reste encore l'identité des charges et des masses des électrons si l'on admet les électrons sphériques et la constance de la pression de Poincaré.

A. Schidlof et A. Karpowicz. — *Résultats des expériences faites avec des gouttes de mercure en vue d'une détermination de la charge de l'électron.*[1]

[1]) Voir *Archives*, 1915, t. XXXIX, p. 88.

BULLETIN SCIENTIFIQUE

ASTRONOMIE-GÉODÉSIE

E. Przybyllok. Polhöhen-Schwankungen. *Sammlung Vieweg*, Tagesfragen aus den Gebieten der Naturwissenschaften und der Technik. 8°. Heft 11. Mit 8 Abbildungen im Text und auf 3 Tafeln. Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1914.

L'invariabilité des latitudes a été longtemps considérée comme un dogme astronomique. Actuellement, il faut placer cette soi-disant *constante* au même rang de *variables* que la plupart des autres constantes de l'astronomie.

Les travaux d'Euler avaient porté sur cette question, et en traitant le problème de la précession et de la nutation, il avait reconnu que l'axe de rotation instantané de la terre pouvait décrire une surface conique autour de son axe de figure dans la période de 305 jours, si on admet que la terre est un ellipsoïde de révolution homogène et absolument rigide. Si les deux axes n'ont pas coïncidé d'emblée, les pôles terrestres peuvent se déplacer, et les latitudes changer avec eux. Que donne l'observation ?

Bessel avait cherché à résoudre ce problème et l'avait résolu d'abord par la négative ; puis il avait admis que la variation de la latitude était possible. Après lui, la question a été reprise par Brioschi, Pond, C. H. F. Peters, Nyrén, Nobile, Fergola ; mais ce n'est qu'à la fin du XIXe siècle qu'elle a été tranchée par l'application du télescope zénital et la méthode de Horrebow-Talcott, par les travaux de Küstner, à Berlin. Des observations concomitantes faites par lui et par M. Marcuse, à Honolulu, de 1891 à 1892, ont prouvé à l'évidence que la latitude varie réellement et que l'oscillation totale atteignait 0″,7. La période, trouvée par Chandler, est de 444 jours.

Depuis 1898, l'Association géodésique internationale poursuit l'étude complète de ces variations, en faisant observer la latitude à six stations du parallèle de $+39° 8' \pm$ quelques secondes d'après la même méthode et avec des instruments tout semblables. Les travaux de réduction sont faits à Potsdam, sous la direction du

professeur Albrecht, et donnent une courbe très spéciale pour le déplacement des pôles. Tantôt, comme de 1890 à 1892, puis de 1908 à 1912, l'oscillation est assez forte ; tantôt, elle est beaucoup plus faible, ce qui explique que la question ait pu être controversée avant la fin du siècle dernier.

La période principale est de 14 mois en moyenne, mais il y a aussi une période annuelle et, peut-être aussi, une période diurne. Enfin, M. Kimura a découvert une autre faible oscillation annuelle et indépendante de la longitude géographique des stations. La différence entre la période principale (436 jours) et celle d'Euler s'explique, d'après Newcomb, par le fait que la terre n'est pas rigide et se compose de couches concentriques à peu près homogènes, et il suffit de lui attribuer un coefficient d'élasticité de l'ordre de celui de l'acier pour expliquer la divergence des périodes.

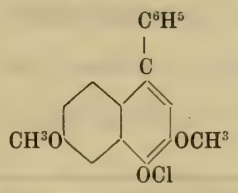
Tout cela, M. Przybyllok l'expose clairement et méthodiquement dans cette excellente brochure, avec beaucoup d'autres faits intéressants. Une planche en trois parties reproduit le déplacement du pôle, pendant les 24 années de 1890 à 1913, d'après les documents de Berlin, de Poulkowo et de Potsdam. Nous regrettons seulement que cet exposé si bien fait ne présente, durant ses 41 pages, ni coupure, ni sous-titre, ni table des matières. Cela rend la brochure un peu difficile à consulter, mais n'enlève rien à sa valeur documentaire. R. G.

CHIMIE

F. Kehrmann et E. Loth. — Sur la résorcine-benzéine (oxy-3-phényl-9-fluorone). *Deutsch. chem. Ges.*, t. 47, p. 2271-2274. Laboratoire de l'Université de Lausanne.

H. von Liebig a décrit diverses résorcine-benzéines et F.-G. Pope (Soc. 105 1914 p. 251) a montré qu'elles correspondaient à un seul composé, l'oxy-3-phényl-9-fluorone : $C^{19}H^{12}O^{3}$. L'un des auteurs avait déjà fait la même observation. Des essais de contrôle ont confirmé ce résultat, ainsi que dans leurs grandes lignes ceux des recherches de Pope. Dans le mémoire actuel, les auteurs se contentent de donner quelques indications supplémentaires sur l'*éther monométhylique de la résorcine-benzéine*, f. à 204° et sur le *chlorure d'oxonium de l'éther diméthylique*, qui a été préparé en chauffant l'alcoolate de cet éther avec une solution d'acide chlorhydrique dans l'alcool méthylique. Ce chlorure se

dissout dans l'eau froide en jaune orange, sa solution se trouble avec séparation du carbinol. Il correspond à la formule :



Si la purification de ce chlorure présente quelques difficultés, celle du *bromure,* en revanche, peut s'opérer très facilement.

F. Kehrmann et F. Wentzel — Historique de la théorie du quinocarbonium. *(Deutsch. chem. Ges.,* t. 47, p. 2274-2275.) Laboratoire de l'Université de Lausanne.

La théorie de la tautomérie du chlorure de triphénylméthyle et des composés analogues ne provient pas de Gomberg, comme divers auteurs (W. Schlenk et S. Marcus, Bucherer) l'ont répété, mais des auteurs de cette réclamation de priorité, qui indiquent à l'appui, les mémoires dans lesquels elle a été énoncée. Gomberg a étendu cette théorie aux dérivés du triphénylméthane et aussi, sans que cela paraisse très justifié, à beaucoup d'autres substances quinoïdiques et l'a dénommée « théorie du quinocarbonium ».

MESURES DU COURANT ÉLECTRIQUE

PASSANT DE L'ATMOSPHÈRE A LA TERRE

faites chaque jour à Altdorf et à Fribourg, entre 1 h. 30 et 2 h. du soir

JANVIER 1915

Date	Altdorf			Fribourg			Temps
	λ	P. G.	Cour^t	λ	P. G.	Cour^t	
1	560	51	95	308	107	114	Fœhn à Altdorf.
2	188	104	65	389	104	134	Pluie sur les montagnes.
3	564	48	90	147	149	73	—
4	130	76	33	211	158-102	—	A la neige.
5	155	280	145	—	—	—	Neige.
6	424	228	322	299	102-155	—	»
7	149	133	66	430	73	105	—
8	200	102	68	262	131	115	—
9	210	69	48	378	79	100	Neige faible.
10	348	77	89	292	65	62	—
11	128	98	42	—	Pluie	—	Tempête.
12	—	—	—	—	—	—	» neige à Altdorf.
13	138	104	47	126	126	53	Brumeux.
14	44	180	26	216	171-130	—	—
15	88	169	29	423	102	144	—
16	332	+82 à -180	—	—	—	—	Pluie.
17	254	circa +400	—	203	99	67	—
18	226	93	70	196	103	67	—
19	138	86	39	75	> 250	—	Beau.
20	142	90	43	53	470	111	Brumeux à Fribourg.
21	114	92	35	52	337	79	—
22	69	220	51	—	—	—	Neige.
23	108	91	33	68	—	—	—
24	259	68	59	187	87	54	Couvert.
25	194	49	32	—	—	—	Neige.
26	215	46	33	116	244	94	—
27	95	94	30	126	+90 à -102	—	Vent fort.
28	230	100	77	141	—	—	Neige.
29	255	140	119	—	—	—	»
30	169	128	72	125	248	104	—
31	172	92	53	116	> 520	—	—

Abréviations

λ = conductibilité par ions négatifs et positifs en unités électrostatiques $\times 10^6$

P. G. = gradient du potentiel en volts par mètre, réduit sur terrain plat

Courant vertical, en unités électrostatiques $\times 10^8$

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES A

L'OBSERVATOIRE DE GENÈVE

PENDANT LE MOIS

DE JANVIER 1915

Le 2, pluie dans la nuit.
3, pluie de 4 h. 15 m. à 10 h. du soir ; pluie dans la nuit.
4, pluie à 4 h. du soir et dans la nuit.
5, pluie de 7 h. à 10 h. du matin.
6, pluie dans la nuit.
7, pluie dans la nuit.
9, pluie de 8 h. à 10 h. du soir ; pluie et neige dans la nuit.
10, pluie dans la nuit.
11, pluie à 4 h. et de 9 h. à 10 h. du soir ; pluie et neige dans la nuit.
12, neige de 8 h. du matin à 1 h. du soir ; pluie dans la nuit.
13, pluie dans la nuit.
15, gelée blanche le matin.
16, pluie à 1 h. et 9 h. du soir ; pluie dans la nuit.
17, neige de 8 h. 30 m. à 10 h du matin, de 6 h. 30 m. à 10 h. du soir et neige dans la nuit ; haut. 4 cm.
18, neige à 1 h. du soir.
19, très forte bise.
21, neige dans la nuit, haut. 2 cm.
23, brouillard le matin.
25, neige dans la nuit ; neige de 7 h. du matin à 7 h. du soir, haut. 3 cm.
les 27 et 28, très forte bise.
le 31, neige dans la nuit, haut. 4 cm.

Hauteur totale de la neige : 13 cm. tombés en quatre jours.

GENÈVE — JANVIER 1915

Jour du mois	Température							Fraction de Saturation en %							Tempér. du Rhône		Limnimètre
	7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 8 Observ.	Ecart avec la normale	Min.	Max.	7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 8 Obs.	Ecart av. la norm.	Min.	Max.	Midi	Ecart avec la normale	
	°	°	°	°	°	°	°								°	°	mm.
1	+ 0.8	+ 4.9	+ 4.5	+ 2.85	+ 3.06	- 0.5	+ 6.0	92	80	80	84	- 2	68	94	—	—	1685
2	3.9	8.6	6.0	5.59	+ 5.83	+ 3.0	9.2	97	73	66	79	- 7	53	98	7.0	+ 1.6	1685
3	1.8	4.2	2.0	3.41	+ 3.70	1.0	5.2	78	77	94	78	- 8	57	98	—	—	1695
4	3.6	4.6	3.9	3.71	+ 3.99	2.0	4.9	80	71	67	77	- 9	62	94	6.3	+ 0.9	1700
5	3.4	5.2	1.8	4.31	+ 4.63	2.0	5.8	80	75	74	76	-10	68	84	6.2	+ 0.9	1625
6	5.2	7.1	5.8	6.22	+ 6.53	4.3	7.7	81	74	85	77	- 9	71	85	6.2	+ 0.9	1675
7	7.0	9.6	8.7	7.89	+ 8.21	4.8	11.0	94	76	72	83	- 3	70	95	6.7	+ 1.5	1625
8	6.4	8.2	4.6	7.24	+ 7.56	4.0	11.5	70	48	68	**63**	**-23**	55	84	6.5	+ 1.3	1630
9	5.0	5.7	3.8	4.72	+ 5.04	0.8	6.8	63	71	70	68	-18	56	92	6.8	+ 1.6	1630
10	2.2	4.3	2.2	2.50	+ 2.82	0.3	4.6	80	66	66	77	- 9	61	92	—	—	1645
11	3.1	7.0	7.2	4.81	+ 5.13	+ 0.5	8.2	87	70	70	76	-10	65	88	6.2	+ 1.1	1655
12	3.3	1.2	3.0	2.71	+ 3.02	0.0	6.4	64	96	86	83	- 3	60	97	6.5	+ 1.4	1675
13	2.1	4.6	3.2	3.20	+ 3.50	+ 1.0	4.6	84	68	68	74	-12	56	85	6.3	+ 1.3	1665
14	2.9	10.9	3.7	5.24	+ 5.53	2.2	**11.8**	87	61	95	82	- 4	60	96	6.5	+ 1.5	1690
15	1.9	8.5	9.4	6.19	+ 6.46	1.3	11.0	93	73	65	80	- 6	62	94	6.3	+ 1.3	1655
16	9.4	8.0	+ 5.7	**8.21**	**+ 8.46**	+ 3.8	11.6	66	77	64	68	-18	50	83	6.5	+ 1.5	1630
17	+ 3.2	+ 4.8	- 0.7	+ 2.25	+ 2.48	- 1.5	5.2	60	45	94	75	-11	**43**	94	—	—	1695
18	- 2.6	- 0.2	- 1.0	- 0.96	- 0.76	- 3.8	+ 1.3	94	90	86	87	+ 1	60	95	6.0	+ 1.1	1665
19	- 3.2	- 1.6	- 2.0	- 2.53	- 2.35	- 4.5	- 0.8	91	96	94	93	+ 7	86	96	5.3	+ 0.4	1710
20	- 8.0	- 2.4	- 5.1	**- 5.06**	**- 4.92**	- 9.8	- 1.8	91	96	83	90	+ 4	80	96	5.2	+ 0.3	1640
21	- 9.0	- 1.3	- 1.2	- 4.71	- 4.60	-10.7	- 0.2	97	88	96	92	+ 6	66	98	5.0	+ 0.1	1640
22	+ 1.2	+ 3.6	+ 0.9	+ 1.50	+ 1.57	- 1.5	+ 4.0	83	58	82	78	- 8	56	94	5.3	+ 0.5	1635
23	- 1.0	- 0.1	0.2	- 0.06	- 0.03	- 2.3	1.3	94	89	85	88	+ 2	74	96	5.3	+ 0.5	1615
24	- 1.2	+ 1.2	+ 1.6	+ 0.62	+ 0.61	- 2.5	2.3	94	77	75	81	- 5	60	96	—	—	1615
25	0.0	1.0	0.0	0.39	+ 0.33	- 1.0	2.0	96	92	98	95	+10	82	100	5.5	+ 0.7	1605
26	- 0.9	+ 2.2	+ 0.6	+ 0.53	+ 0.43	- 2.0	3.6	98	61	78	84	- 1	60	98	5.5	+ 0.7	1595
27	- 0.8	- 0.4	- 1.6	- 0.83	- 0.98	- 2.8	+ 0.3	85	89	92	87	+ 2	75	96	5.5	+ 0.7	1600
28	- 4.0	- 2.8	- 3.8	- 3.31	- 3.52	- 5.0	- 1.6	95	96	95	**96**	**+11**	84	98	5.5	+ 0.7	1610
29	- 4.5	- 3.1	- 4.9	- 4.16	- 4.42	- 6.8	- 2.8	98	70	81	85	0	67	98	4.7	- 0.1	1545
30	- 7.4	- 0.7	- 3.2	- 3.83	- 4.15	- 9.0	+ 1.0	90	90	87	89	+ 4	82	94	4.5	- 0.3	1535
31	-10.0	+ 1.0	+ 0.5	- 3.45	- 3.83	**-11.3**	+ 2.3	90	89	91	88	+ 3	61	96	—	—	1525
Mois	+ 0.45	+ 3.35	+ 1.90	+ 1.78	+ 1.86	- 3.95	+ 4.59	86	77	81	82	- 4			5.89	+ 0.78	1637

GENÈVE — JANVIER 1915

Jour du mois	Pression atmosphérique 700mm + 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 8 Obs.	Ecart av. la norm.	Barographe Min.	Max.	Vent 7 h.	1 h.	9 h.	Dominant	Vit. moy. kil. h.	Nébulosité 7 h.	1 h.	9 h.	Moy. 6 obs.	Durée d'insolation	Pluie Hauteur 24 h.	Nombre d'heures
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm										h.	mm.	
1	17.9	14.1	12.1	15.37	-12.45	11.8	19.0	SE. 1	SE. 1	SW. 1	SE. 1	2.5	10	8	10	7	5 0	8.2	8
2	11.1	11 9	13.5	12.29	-15.55	11.0	13.8	NE. 1	SSW. 1	SW. 1	SSW. 1	11.6	10	8	5	7	2.0	....	....
3	9.0	5.1	5.8	7.55	-20.31	3.2	13.0	SE. 1	SSW. 1	SSW. 1	SSW. 1	4.4	2	9	10	9	0.6	**19.0**	10
4	9.1	10.6	16.4	11.09	-16.78	7.0	17.2	SSW. 1	W. 1	SSW. 2	SSW. 1	13.9	9	9	9	8	0.1	2.8	3
5	19.7	23.4	25.2	22.04	- 5.85	17.0	26 1	SSW. 2	SSW. 2	SW. 1	SSW. 2	15.8	9	9	10	8	0.2	2.0	3
6	30.3	30.6	32.0	30.30	+ 2 40	26.1	32.1	SW. 1	SSW. 2	N. 1	SW. 1	9.4	9	9	10	9	1.1	1.9	3
7	29.1	27.3	24.2	27.45	- 0.46	23.8	30.8	W. 1	NNW 1	SW. 1	NNW. 1	4.6	9	9	0	7	0.4	3.6	2
8	26.5	26.3	24.1	25.11	- 2.80	22.5	27.9	SW. 1	SSW. 1	SSW. 1	SSW. 1	10.6	2	3	0	2	6.0	....	....
9	18.4	17.7	17.6	18.42	- 9.50	17.1	21.6	SSW. 1	S. 1	SSW. 1	SSW. 1	8.6	10	9	10	8	2.2	7.3	5
10	21.8	24.7	27.2	23.70	- 4.22	18.3	27.2	SSW. 1	W. 1	NW. 1	SSW 1	6.5	9	8	9	8	1.0	2.2	3
11	21.6	21.1	19.1	21.36	- 6.56	18.5	26.0	SSW. 1	SW. 2	SSW. 2	SSW. 2	17.7	10	9	10	10	0.0	8.2	8
12	21.8	25.2	29.6	24.57	- 3.35	19.2	30.9	E. 1	SE. 1	SSW. 1	SE. 1	7.1	10	6	10	8	2.0	4.7	6
13	33.1	32 2	33.4	32.81	+ 4.89	30.9	34.1	NE. 1	SE. 1	SSW. 1	var.	2.7	9	9	10	9	2.0	1.3	2
14	33.8	33.2	33.5	33.64	+ 5.73	33.1	34.4	E. 1	SSW. 1	SSW. 1	calme	1.1	10	1	0	4	4.4	0.1	....
15	33.0	30.6	28.1	31 00	+ 3.10	27.0	33.6	SSE. 1	NW. 0	SSW. 1	var.	2.3	7	7	10	9	2.4	3.6	3
16	22.1	21.3	22.8	22.86	- 5.03	20.7	27.0	SSW. 3	SSW. 2	SSW. 2	SSW. 2	16.8	10	9	9	7	2.1	4.3	5
17	25.3	25.4	26.6	25.25	- 2.63	23.1	26.7	SSW. 1	SW. 1	SE. 1	SSW. 1	8.4	8	2	10	7	3.0	3.3	6
18	27.0	27.7	31.9	28.43	+ 0.56	26.4	32.5	S. 1	W. 1	NNE. 3	NNE. 1	11.9	2	10	9	5	1.8	....	...
19	33.9	34.8	36.0	**34.52**	**+ 6.67**	32.5	36.1	NNE. 3	NNE. 3	NNE. 3	NNE. 3	26.0	0	0	0	0	7.6	....	....
20	36.5	33.8	31.2	34.25	+ 6.42	29.5	**36.5**	SE. 1	NNE. 1	NNE. 1	NNE. 1	3.4	0	0	0	0	7.9	....	....
21	23.8	15.3	6.6	17.48	-10.33	5.2	29.5	SW. 0	W. 1	SSW. 1	calme	1.3	0	9	10	7	3 1	3 0	3
22	5.2	5.7	7.0	5.89	-21.90	5.2	7.0	SSW. 1	SW. 1	NNE. 1	SSW. 1	9.2	7	9	10	9	0.3	....	....
23	5.9	4.0	5.7	**5.33**	**-22.44**	**2.9**	6.7	SSE. 1	SE. 1	SE. 1	NE. 1	3.8	10	10	10	10	0.0	....	....
24	8.3	9.8	11.4	9.35	-18.39	6.0	11.4	NE. 1	E. 1	NNW. 1	NNE. 1	6 9	10	10	10	10	0.0	0.2	1
25	11.4	11.3	12.6	11.68	-16.03	11.0	12.9	SSE. 1	SE. 1	SE. 1	calme	1.3	10	10	10	10	0.0	4.6	**13**
26	13.2	13.7	13.1	13.35	-14.33	12.7	13.9	SSE. 1	SW. 1	SSW. 0	SW. 1	1.9	10	9	10	10	1.4	....	....
27	9.5	7.6	6 2	8.40	-19.25	5.9	12.8	NNE. 3	NNE. 3	NNE. 3	NNE. 3	24.5	3	9	10	8	0.9	....	....
28	5 9	7.1	10.0	7.32	-20.29	5.8	10.7	NNE. 2	NNE. 3	NNE. 3	NNE. 3	**32.5**	10	10	9	10	0.0	...	....
29	13.0	14.8	18.2	14.49	-13.08	10.7	18.7	NNE. 2	NNE. 1	NNW. 1	NNE. 2	15.3	10	9	10	8	0 5	....	....
30	21.3	22.9	25 1	22.32	- 5.21	18.7	25.5	S. 1	N. 1	N. 0	N. 1	3.6	1	1	0	0	**8.2**	....	....
31	24.9	23.1	24.2	24.35	- 3.14	22.2	25.6	SSW. 1	SSW. 1	S. 1	SSW. 1	4.6	0	1	0	5	6.6	2.0	3
Mois	20.11	19.75	20.34	20.06	- 7.31							9.36	7.0	7.3	7.4	7.1	72.8	82.3	87

MOYENNES DE GENÈVE. — JANVIER 1915

Correction pour réduire la pression atmosphérique de Genève à la pesanteur normale : + 0mm.02. — Cette correction n'est pas appliquée dans les tableaux.

Pression atmosphérique : 700mm +

	1 h. m.	4 h. m.	7 h. m.	10 h. m.	1 h. s.	4 h. s.	7 h. s.	10 h. s.	Moyennes
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1re déc.	18.83	18.91	19.29	19.89	19.18	19 23	19.62	19.70	19.33
2e »	28.85	28.91	28.80	29 22	28.52	28.49	28 95	29.22	28 87
3e »	13.16	12.95	12.95	13.15	12 29	12.02	12.43	12.80	12.72
Mois	20.05	20.02	20.11	20 51	19.75	19.66	20.08	20.32	20.06

Température.

	°	°	°	°	°	°	°	°	°
1re déc	+ 4 41	+ 4.26	+ 3.93	+ 4.83	+ 6.24	+ 5 62	+ 4.97	+ 4.54	+ 4.85
2e »	+ 2.22	+ 1.41	+ 1.21	+ 2.29	4 08	3.81	+ 2.40	+ 1.83	+ 2.41
3e »	- 2.65	- 3.32	- 3.42	- 1.88	0.05	0.20	- 0 35	- 1.23	- 1.57
Mois	+ 1.20	+ 0.65	+ 0 45	+ 1.63	+ 3.35	+ 3.11	+ 2 25	+ 1.62	+ 1 78

Fraction de saturation en %.

1re décade	80	82	81	76	71	70	75	75	76
2e »	82	83	82	83	77	74	82	84	81
3e »	90	92	93	89	82	83	86	86	88
Mois	84	86	86	83	77	76	81	82	82

Dans ce mois l'air a été calme 32 fois sur 1000.

Le rapport des vents $\frac{NNE}{SSW} = \frac{85}{90} = 0.94$

Moyennes des 3 observations (7h, 1h, 9h)

		mm
Pression atmosphérique		20.07
Nébulosité		7.2
Température	$\frac{7+1+9}{3}$	+ 1°.90
	$\frac{7+1+2\times9}{4}$	+ 1°.90
Fraction de saturation		81 %

Valeurs normales du mois pour les éléments météorologiques, d'après Plantamour :

		mm
Press. atmosphér.	(1836-1875).	727.37
Nébulosité	(1847-1875).	7.9
Hauteur de pluie	(1826-1875).	48mm.8
Nombre de jours de pluie.	(id.).	10
Température moyenne	(id.).	— 0°.08
Fraction de saturat.	(1849-1875).	86 %

Observations météorologiques faites dans le canton de Genève

Résultats des observations pluviométriques

Station	CÉLIGNY	COLLEX	CHAMBESY	CHATELAINE	SATIGNY	ATHENAZ	COMPESIÈRES
Hauteur d'eau en mm.	132.8	125.4	102.1	71.4	120 7	109.0	87.8

Station	VEYRIER	OBSERVATOIRE	COLOGNY	PUPLINGE	JUSSY	HERMANCE
Hauteur d'eau en mm.	79.7	82.3	83.9	85.9	80.2	95.4

Insolation à Jussy : h.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES AU

GRAND SAINT-BERNARD

PENDANT LE MOIS

DE JANVIER 1915

Les 1, 2, 3 et 11, neige et fort vent.
4, 6, 13, 14, 17, 18, 25 et 26, neige et forte bise.
5, 7, 8, 9, 10, 16, 23 et 24, neige.
le 12, violente bise, brouillard et neige.
les 4, 14, 17 et 30, brouillard le matin.
18 et 26, brouillard le soir.
le 27, brouillard matin et soir.
les 29 et 30, très forte bise.

GRAND SAINT-BERNARD — JANVIER 1915

Jour du mois	Pression atmosphérique 500mm + 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 3 Obs.	Ecart av. la norm.	Barographe Min.	Max.	Vent 7 h.	1 h.	9 h.	Dominant	Nébulosité 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 3 Obs.	Pluie Hauteur (24 h.)	Neige Hauteur (24 h.)
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.									mm.	cm.
1	55.7	54.7	53.0	54.5	- 6.9	51.8	56.0	SW. 3	SW. 1	SW. 2	SW. 3	10	10	10	10	10.0	18
2	51.5	50.2	51.6	50.8	- 10.5	50.1	51.7	SW. 2	NE. 1	SW. 1	SW. 1	10	8	9	9	12.0	16
3	50.0	48.3	44.3	47.5	- 13.8	44.3	51.4	SW. 1	SW. 4	NE. 2	SW. 2	9	10	10	10	16.4	22
4	44.9	47.0	51.3	47.7	- 13.6	44.7	52.4	NE. 3	NE. 2	NE. 1	NE. 2	10	10	10	10	12.7	18
5	51.2	57.1	60.1	57.1	- 4.2	52.4	61.6	NE. 0	NE. 1	NE. 1	NE 1	10	10	10	10	18.0	26
6	62.1	63.1	65.6	63.6	+ 2.4	60.6	65.7	NE 1	NE. 1	NE. 1	NE. 2	10	10	10	10	**28.4**	**38**
7	64.8	64.4	62.3	63.8	+ 2.6	61.7	65.1	NE. 2	NE. 1	SW. 1	NE. 1	10	8	0	6	8.6	10
8	60.6	60.6	59.2	60.1	- 1.1	57.8	61.7	NE 2	NE. 0	NE. 0	NE. 0	10	0	0	3	0.2	...
9	54.5	52.8	52.4	53.2	- 8.0	52.2	57.8	NE. 0	NE. 1	NE. 1	NE. 1	6	8	10	8	8.6	13
10	54.5	56.4	59.2	56.7	- 4.4	52.4	59.3	NE. 4	NE. 1	NE. 1	NE. 2	10	10	0	7	7.0	10
11	57.2	55.5	55.1	55.8	+ 0.2	51.0	59.0	SW. 1	NE. 1	SW. 5	SW. 2	10	10	10	10	6.8	8
12	52.8	55.5	60.3	56.2	+ 0.1	52.7	61.4	NE. 6	NE. 5	NE. 4	NE. 5	10	10	10	10	12.4	15
13	64.2	63.8	66.0	61.7	+ 3.6	61.4	67.0	NE. 2	NE 3	NE. 4	NE. 3	9	8	10	9	16.8	7
14	67.6	68.1	68.4	**68.0**	+ **7.0**	67.0	68.7	NE. 5	NE. 3	NE. 3	NE. 4	10	10	0	7	1.4	....
15	69.2	67.1	64.7	67.0	+ 6.0	63.8	**69.3**	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	1	0	3	1	3.0	7
16	59.6	57.5	56.8	58.0	- 3.0	56.6	63.8	NE. 1	NE. 1	NE. 0	NE. 1	10	10	10	10	13.0	19
17	56.1	56.2	56.6	56.3	- 4.6	56.0	56.6	NE. 3	NE. 2	NE 2	NE. 2	10	10	10	10	6.2	10
18	56.0	56.6	58.6	57.1	- 3.8	56.0	59.1	NE. 4	NE. 4	NE. 4	NE. 4	10	6	10	9	3.2	5
19	60.3	61.7	63.2	61.7	+ 0.8	59.1	63.4	NE. 2	NE. 1	NE. 1	NE. 1	0	0	0	0	....	....
20	63.1	61.7	59.5	61.4	+ 0.5	58.4	63.4	NE. 1	NE. 2	NE. 3	NE. 2	0	0	0	0	....	....
21	56.0	52.3	47.2	51.8	- 9.0	45.4	58.4	SW. 2	SW 1	SW. 4	SW. 2	1	2	10	4	....	....
22	42.6	42.1	43.5	42.7	- 18.1	42.0	45.4	SW. 1	NE. 1	SW. 1	SW. 1	10	10	1	7	8.6	11
23	41.8	41.0	42.7	41.8	- 19.0	40.6	43.1	NE. 1	NE. 1	NE. 0	NE. 1	0	10	3	4	1.6	5
24	45.4	46.2	46.8	46.1	- 14.6	43.1	46.8	SW. 2	NE. 1	SW. 1	SW. 1	10	2	2	5	2.3	4
25	45.8	46.1	46.8	46.2	- 14.5	45.6	47.0	NE 2	NE. 1	NE. 4	NE. 2	10	10	10	10	6.7	10
26	46.8	47.3	47.4	47.2	- 13.4	46.8	47.5	NE. 2	NE. 2	NE. 1	NE. 2	10	10	10	10	1.7	2
27	41.2	43.0	41.7	43.0	- 17.6	41.4	46.6	NE. 2	NE. 2	SW. 2	NE. 2	10	5	10	8	....	....
28	39.5	40.6	43.0	**41.0**	- **19.6**	**39.5**	44.2	SW. 1	SW. 1	NE. 1	SW. 1	0	1	0	0	....	....
29	45.3	46.3	47.8	46.5	- 14.0	44.2	48.9	SW. 1	NE. 2	NE. 3	NE. 2	0	1	0	0	....	....
30	50.5	53.0	55.0	53.2	- 7.3	48.9	56.4	NE. 3	NE. 4	NE. 2	NE. 3	10	4	0	5	....	....
31	55.6	56.7	55.8	56.7	- 3.8	56.4	56.9	NE. 0	SW. 2	SW. 1	SW. 1	0	1	1	1	....	....
Mois	53.94	53.96	54.45	54.12	- 6.37							7.3	6.6	5.8	6.6	205.6	274

Jour du mois	Température							Fraction de saturation en %					
	7 heures	1 heure	9 heures	Moyenne 3 Observ.	Ecart avec la normale	Minimum	Maximum	7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 3 Obs.	Min.	Max.
	°	°	°	°	°	°	°						
1	- 10.6	- 10.8	- 10.9	- 10.8	- 2.2	- 13.0	- 10.1	81	86	86	84	74	88
2	- 10.4	- 5.7	- 10.6	- 8.9	- 0.3	- 12.0	- 5.4	86	88	87	87	83	92
3	- 11.8	- 10.6	- 10.2	- 10.9	- 2.2	- 13.0	- 9.8	86	86	86	86	84	90
4	- 12.0	- 8.7	- 10.7	- 10.5	- 1.8	- 12.6	- 7.8	86	86	88	87	83	90
5	- 10.9	- 7.6	- 8.7	- 9.1	- 0.4	- 12.3	- 7.0	87	86	88	87	82	91
6	- 8.3	- 7.0	- 7.3	- 7.5	+ 1.3	- 9.5	- 6.8	88	87	90	88	85	92
7	- 3.8	- 2.2	- 5.2	- 3.7	+ 5.1	- 7.4	- 2.2	90	93	76	86	62	95
8	- 6.4	- 8.7	- 9.9	- 8.3	+ 0.5	- 11.0	- 4.8	86	84	82	84	78	88
9	- 11.0	- 9.4	- 11.3	- 10.6	- 1.8	- 12.1	- 9.0	73	78	80	77	71	85
10	- 12.4	- 10.6	- 14.6	- 12.5	- 3.6	- 15.3	- 10.6	82	83	80	82	78	85
11	- 8.5	- 7.0	- 10.3	- 8.6	+ 0.3	- 15.6	- 6.7	86	86	86	86	86	88
12	- 11.9	- 11.3	- 12.2	- 11.8	- 2.9	- 13.0	- 10.8	86	82	84	84	80	88
13	- 11.6	- 9.8	- 7.3	- 9.6	- 0.7	- 12.5	- 5.7	84	84	86	85	84	90
14	- 2.3	- 1.1	- 2.9	**- 2.1**	**+ 6.8**	- 6.8	**- 1.0**	88	90	88	89	86	92
15	- 6.5	- 4.4	- 5.7	- 5.5	+ 3.5	- 6.9	- 4.0	84	85	87	85	82	90
16	- 4.7	- 4.6	- 8.0	- 5.8	+ 3.2	- 8.8	- 4.2	90	90	94	91	84	94
17	- 11.7	- 11.1	- 15.5	- 12.8	- 3.8	- 15.7	- 9.2	94	95	92	**94**	90	96
18	- 16.4	- 15.2	- 17.6	- 16.4	- 7.4	- 18.8	- 15.0	91	90	90	90	90	96
19	- 21.3	- 18.6	- 19.8	**- 19.9**	**- 10.9**	**- 23.8**	- 18.3	87	90	86	88	80	93
20	- 18.4	- 15.2	- 16.7	- 16.8	- 7.8	- 21.0	- 15.0	64	67	67	66	61	77
21	- 15.5	- 7.7	- 10.7	- 11.3	- 2.2	- 18.7	- 5.6	38	58	87	61	**34**	90
22	- 11.3	- 10.7	- 12.2	- 11.4	- 2.3	- 13.3	- 10.3	95	89	91	92	85	**97**
23	- 13.5	- 9.6	- 9.7	- 10.9	- 1.8	- 14.5	- 9.2	89	84	90	88	81	93
24	- 9.7	- 9.6	- 11.5	- 10.3	- 1.2	- 12.2	- 9.4	95	95	90	93	90	96
25	- 14.1	- 11.4	- 13.7	- 13.1	- 4.0	- 15.0	- 11.1	90	92	92	91	90	95
26	- 14.0	- 12.7	- 13.8	- 13.5	- 4.4	- 15.3	- 12.5	92	92	93	92	91	95
27	- 14.7	- 13.1	- 14.6	- 14.1	- 5.0	- 17.0	- 12.6	93	93	93	93	92	94
28	- 19.8	- 16.1	- 17.7	- 17.9	- 8.8	- 21.1	- 15.2	90	90	90	90	84	93
29	- 18.0	- 15.7	- 18.8	- 17.5	- 8.4	- 19.7	- 15.3	82	70	84	79	66	87
30	- 18.4	- 16.5	- 17.7	- 17.5	- 8.4	- 20.0	- 15.5	88	87	62	79	54	88
31	- 13.2	- 10.2	- 13.9	- 12.4	- 3.3	- 19.0	- 8.8	40	49	53	**47**	36	72
Mois	- 12.04	- 10.09	- 11.93	- 11.35	- 2.31	- 14.42	- 9.32	84	84	85	84		

MOYENNES DU GRAND SAINT-BERNARD — JANVIER 1915

Correction pour réduire la pression atmosphérique du Grand Saint-Bernard à la pesanteur normale : — $0^{mm}.22$. — Cette correction n'est pas appliquée dans les tableaux.

Pression atmosphérique : 500^{mm} + **Fraction de saturation en %**

	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
	mm	mm	mm	mm				
1re décade	55.18	55.46	55.90	55.51	85	86	84	85
2e »	60.61	60.47	60.92	60.67	85	86	86	86
3e »	46.77	46.78	47.25	46.93	81	82	84	82
Mois	53.94	53.96	54.45	54.12	84	84	85	84

Température.

	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s	Moyenne. $\frac{7+1+9}{3}$	Moyenne. $\frac{7+1+2\times9}{4}$
	°	°	°	°	°
1re décade	— 9.76	— 8.13	— 9.94	— 9.28	— 9.44
2e »	— 11.33	— 9.83	— 11.60	— 10.92	— 11.09
3e »	— 14.75	— 12.12	— 14.03	— 13.63	— 13.73
Mois	— 12.04	— 10.09	— 11.93	— 11.35	— 11.50

Dans ce mois l'air a été calme 75 fois sur 1000

Le rapport des vents $\frac{NE}{SW} = \frac{135}{45} = 3.00$

Pluie et neige dans le Val d'Entremont.

Station	Martigny-Ville	Orsières	Bourg-St-Pierre	St-Bernard
Eau en millimètres.....	133.7	60.5	93.5	205.6
Neige en centimètres....	22	45	88	274

LA

THÉORIE DES PROBABILITÉS

ET

LA PHYSIQUE

PAR

Edouard GUILLAUME

(DEUXIÈME PARTIE[1])

---

§ 5.

Brassage parfait d'un ensemble de points dans un espace représentatif a r dimensions. — Fluctuations.

43. Envisageons un espace à r dimensions que nous appellerons *espace représentatif à* r *dimensions*. Nous entendons par là un espace dans lequel la position d'un point relativement à un système de coordonnées est déterminée par r paramètres $x_1, x_2, \ldots, x_r$. Ces paramètres pourront, par exemple, représenter les grandeurs qui définissent un même système physique, les uns étant des coordonnées, les autres des vitesses ou des impulsions, etc.

Précisons tout de suite ce que nous entendrons par *système physique*. Ce sera, par exemple, une molécule simple, c'est-à-dire un point matériel de masse m, dont la position est déterminée par 3 coordonnées et dont le mouvement est défini par 3 vitesses composantes. On a alors $r = 6$. Mais nous pourrons entendre aussi un système composé de N de ces molécules : ce serait un gaz parfait monoatomique, et l'on aurait $r = 6$ N.

[1]) Voir *Archives*, 1914, t. XXXVIII, p. 373.

Ainsi, l'état de tout un gaz, plus généralement, l'état de tout un corps se trouvera représenté par un point unique de l'espace à r dimensions.

44. Considérons un certain domaine $\mathfrak{D}_r$ dans l'espace représentatif et n_0 points dans ce domaine.

Comme nous le verrons, l'étude du brassage parfait de ces n_0 points nous sera utile lorsque les paramètres $x_1, \ldots, x_r$ obéiront à des lois très compliquées.

Nous définirons ce brassage de la façon suivante :

Imaginons le domaine $\mathfrak{D}_r$ divisé en K *domaines élémentaires* égaux et très petits, puis supposons les K cases ainsi obtenues numérotées de 1 à K. La position de la case n° i dans $\mathfrak{D}_r$ sera définie par les r valeurs que prennent les paramètres x en un certain point de cette case.

Nous formerons le schéma de brassage parfait (§ 2) en faisant correspondre à ces n_0 points, n_0 *démons* munis chacun d'un jeu de K cartes numérotées de 1 à K. Pour faciliter l'exposition, nous distinguerons deux cas :

1° *Brassage parfait simple.* Les démons feront les opérations suivantes : ils battront les cartes par une infinité de coups et, à l'instant t_0, chacun d'eux placera le point correspondant dans la case portant le numéro de la première carte de son jeu. Après un intervalle de temps τ, donc à l'instant $t_0 + \tau$, l'opération sera recommencée, puis aux instants $t_0 + 2\tau$, $t_0 + 3\tau$, etc. Nous obtiendrons ainsi une suite de distributions ou répartitions des n_0 points donnés.

Nous pouvons alors définir deux sortes de probabilités objectives qui correspondent à deux manières différentes d'envisager ces distributions.

a) La *manière individuelle,* où l'on tient compte de l'individualité de chaque point. Une distribution déterminée de ceux-ci sera appelée *répartition individuelle.* Pour individualiser les points, nous les supposerons numérotés, et la probabilité d'une telle répartition sera la probabilité pour que le point n° 1 se trouve dans la case n° i. le point n° 2 dans la case n° j, etc., $i, j, \ldots$ pouvant avoir l'une quelconque des valeurs entières 1, 2. 3, ..., K. Toutes les distributions sont également probables. La probabilité pour que le point n° 1 soit dans une case

donnée, est $\frac{1}{K}$; de même, la probabilité pour que le point n° 2 soit dans une case donnée, est $\frac{1}{K}$, etc. La probabilité composée pour que, dans une même distribution, les n_0 points tombent dans des cases désignées à l'avance, sera égale au produit de n_0 facteurs égaux à $\frac{1}{K}$, c'est-à-dire à $\frac{1}{K^{n_0}}$. Il y a un cas favorable, celui où la répartition envisagée est réalisée, et K^{n_0} cas possibles; K^{n_0} est en effet le nombre d'arrangements avec répétitions de K objets pris n_0 à n_0.

b) La *manière globale,* où l'on ne tient pas compte de l'individualité de chaque point; on s'intéresse seulement à l'aspect de l'ensemble qu'ils forment. Si, par exemple, des grains sont répartis sur une table, il pourra nous importer de savoir si les grains sont uniformément répartis, ou bien, s'ils forment, par endroit, des tas plus ou moins grands. Une distribution déterminée des n_0 points sera appelée *répartition globale.* La probabilité d'une telle répartition sera la probabilité pour que n_1 points soient dans telle ou telle case, n_2 points dans telle autre, etc., abstraction faite de l'individualité des points. Nous aurons encore K^{n_0} cas possibles, mais le nombre de cas favorables est beaucoup plus grand que précédemment. Une même répartition globale comprend, en effet, un certain nombre de répartitions individuelles, autant qu'il y a de permutations possibles entre des points qui ne sont pas dans une même case. Pour avoir leur nombre, il suffit de chercher le nombre de permutations que l'on peut faire avec n_0 objets dont $n_1, n_2, \ldots, n_K$ ne doivent pas être permutés. Ce nombre est

$$\frac{n_0!}{n_1!\,n_2!\ldots n_K!},$$

de sorte que la probabilité de la répartition globale envisagée est :

$$(\mathrm{I})\quad \begin{cases} (\mathrm{I}_1) \qquad \mathfrak{P}(n_1, n_2, \ldots, n_K) = \dfrac{1}{K^{n_0}}\,\dfrac{n_0!}{n_1!\,n_2!\ldots n_K!}, \\[2ex] (\mathrm{I}_2) \qquad n_0 = \sum\limits_{i=1}^{i=K} n_i\,. \end{cases}$$

Si nous désignons, comme avant, par $x_1, \ldots, x_r$ les coordonnées de la case n° i, nous pourrons poser :

$$n_i = n(x_1, \ldots, x_r) ,$$

et écrire (I_2) sous la forme :

$$n_0 = \sum_{\mathfrak{D}_r} n(x_1, \ldots, x_r) ,$$

le signe $\sum_{\mathfrak{D}_r}$ indiquant qu'il faut sommer pour chacun des paramètres séparément sur tout le domaine $\mathfrak{D}_r$; n_i est évidemment une fonction discontinue (cf n° 47); elle doit avoir même valeur quelle que soit la façon dont on définit les coordonnées des cases, et varier brusquement lorsqu'on passe d'une case à une case adjacente.

2° *Brassage parfait avec liaisons.* On peut dire que la relation (I_2) a la forme d'une équation de *liaisons.* Or, il pourra arriver qu'il y ait encore d'autres équations semblables, représentant certaines liaisons. c'est-à-dire que le phénomène de brassage considéré soit tel que certaines valeurs de $\mathfrak{P}$ doivent être exclues. Dans toutes nos applications, les équations de liaisons se présenteront sous la forme :

$$(I_3) \qquad n_0\bar{\varphi} = \sum_{\mathfrak{D}_r} n_i\varphi_i ,$$

où

$$\varphi_i = \varphi(x_1, \ldots, x_r)$$

ne dépend pas des n_i, et où $\bar{\varphi}$ est une quantité indépendante des x, que nous appellerons la *valeur moyenne* de $\varphi(x_1, \ldots, x_r)$. On peut exprimer cette liaison en disant que chaque point qui tombe dans la case i reçoit de ce fait la portion φ_i de la quantité totale $n_0\varphi$. La fonction φ peut, par exemple, représenter l'énergie d'un système.

Il est évident que le nombre des relations telles que (I_3) ne pourra dépasser K — 2. Seules devront être prises en considération, les valeurs de $\mathfrak{P}$, c'est-à-dire les répartitions, *compatibles avec les liaisons.*

45. On peut dire que le brassage parfait ainsi défini est une notion purement « cinématique ». On n'y envisage en effet que des changements de positions de points, s'opérant pendant les intervalles τ. Des notions dynamiques, telles que celles de force, masse, etc., n'y jouent aucun rôle.

46. Nous allons supposer que le nombre n_0 de points est énorme, et que, pour toutes les répartitions envisagées dans la suite, les nombres n_i sont assez grands pour que l'on puisse appliquer la formule de Stirling :

$$(1) \qquad n! = n^{n+\frac{1}{2}} e^{-n} \sqrt{2\pi} \left(1 + \frac{1}{12n} - \frac{1}{360n^3} + \theta_n\right),$$

où θ_n tend vers zéro lorsque n augmente indéfiniment. Nous supposerons toujours, dans ce qui suit, que n est assez grand pour que l'on puisse négliger $\frac{1}{12\,n}$ devant l'unité.

47. Au lieu des variables n_i, nous introduirons les rapports :

$$\mathfrak{p}_i = \frac{n_i}{n_0} = \frac{n(x_1, \ldots, x_r)}{n_0} = \mathfrak{p}\,(x_1, \ldots, x_r) \ .$$

Les $\mathfrak{p}$ ont une signification simple. Considérons une certaine répartition où tous les n_i sont connus, et choisissons, parmi les n_0 points, un point bien déterminé. La probabilité objective pour que ce point se trouve justement parmi les n_i points de la case n° i, est $\mathfrak{p}_i$. Nous nommerons $\mathfrak{p}_i$ la *probabilité objective d'état*.

On appelle, en effet, *état d'un système*, ou, plus brièvement, du point qui le représente, tout groupe possible de r valeurs des r paramètres $x_1, \ldots, x_r$. Nous considérerons deux cas (cf § 9) :

1° Les x sont des variables *continues*. Nous ferons alors correspondre un état à chaque case en fixant un groupe de r valeurs parmi toutes les valeurs que peuvent prendre les paramètres dans la case; $\mathfrak{p}$ sera la probabilité pour que le point ou système choisi soit « dans le voisinage » de cet état.

2° Les x ne peuvent prendre que des valeurs *discrètes*. Dans ce cas, nous ferons correspondre *une seule* case à tout groupe possible de r valeurs des r paramètres, valeurs qui formeront

un état; $\mathfrak{p}$ sera la probabilité pour que le point ou système choisi soit « dans cet état ».

En effectuant le changement de variables indiqué, on obtient, pour la probabilité envisagée :

$$(2) \qquad P(\mathfrak{p}_1, \ldots, \mathfrak{p}_K) = \frac{(2\pi n_0)^{\frac{1-K}{2}}}{K^{n_0}} \prod_{\mathfrak{D}_r} \mathfrak{p}^{-n_0\mathfrak{p}-\frac{1}{2}}.$$

Dans les applications, il est commode de prendre les logarithmes des deux membres. Enfin, nous supposerons qu'il n'y a, outre la condition (I_2), qu'une seule liaison du type (I_3). Nous aurons donc le système :

$$(I') \quad \begin{cases} (I'_1) & \log P(\mathfrak{p}_1, \ldots, \mathfrak{p}_K) = -\sum_{\mathfrak{D}_r} \left(n_0\mathfrak{p} + \frac{1}{2}\right) \log \mathfrak{p} - \log K^{n_0}(2\pi n_0)^{\frac{K-1}{2}}, \\ (I'_2) & 1 = \sum_{\mathfrak{D}_r} \mathfrak{p}, \\ (I'_3) & \bar{\varphi} = \sum_{\mathfrak{D}_r} \mathfrak{p}\,\varphi. \end{cases}$$

48. Parmi les valeurs intéressantes de P, il y a lieu de considérer le maximum de cette fonction, c'est-à-dire la valeur de P qui correspond à la répartition la plus probable compatible avec les liaisons.

Nous appellerons *probabilité objective moyenne d'état,* la quantité

$$\bar{\mathfrak{p}}_i = \frac{\bar{n}_i}{n_0} = \bar{\mathfrak{p}}(x_1, \ldots, x_r),$$

qui correspond aux nombres n_i relatifs à la répartition la plus probable. C'est donc le rapport du nombre le plus probable de points qui se trouvent dans la case n° i, au nombre total des points.

Pour avoir les K valeurs des $\mathfrak{p}$ correspondant à cette répartition, nous aurons un maximum relatif à déterminer, et nous nous servirons à cet effet de la méthode des multiplicateurs. Multiplions respectivement la seconde et la troisième

relation par les indéterminées $-\alpha$ et $-\beta$, ajoutons membre à membre et différencions. Nous obtenons :

$$(3)\quad \sum_{\mathfrak{D}_r} \left\{ \log \mathfrak{p} + \frac{1}{2n_0}\frac{1}{\mathfrak{p}} + 1 + \frac{\alpha}{n_0} + \frac{\beta}{n_0}\varphi(x_1, \ldots, x_r) \right\} d\mathfrak{p} = 0 .$$

Pour que cette différentielle totale soit identiquement nulle, il faut que, dans chaque summande, la quantité entre parenthèses soit nulle. En posant ces quantités égales à zéro, nous pourrons en tirer les K valeurs des $\mathfrak{p}$ en fonction de φ, qui donnent le maximum de P compatible avec les relations (I'_2) et (I'_3). En mettant ces valeurs dans ces dernières, nous pourrons déterminer les multiplicateurs α et β.

49. Appliquons ceci au cas du brassage simple :

$$\varphi = 0 .$$

Les quantités à annuler sont alors de la forme :

$$\log \mathfrak{p} + \frac{1}{2n_0}\frac{1}{\mathfrak{p}} + 1 + \frac{\alpha}{n_0} = 0 .$$

Or, cette équation admet une racine comprise entre 0 et 1; soit $\bar{\mathfrak{p}}_0$ celle-ci; elle ne dépend pas de i; donc, dans la distribution la plus probable, tous les $\mathfrak{p}_i$ sont égaux à $\bar{\mathfrak{p}}_0$, autrement dit, les points sont uniformément répartis dans le domaine. La relation (I_2') donne alors :

$$\bar{\mathfrak{p}}_0 = \frac{1}{K} ;$$

d'où

$$\bar{P}_0 = K^{\frac{K}{2}}(2\pi n_0)^{\frac{1-K}{2}} .$$

Remarquons que $\bar{\mathfrak{p}}_0$ ne dépend pas de n_0. Il n'en est pas de même de $\bar{P}_0$; cette dernière quantité tend vers 0 lorsque n_0 augmente, de sorte que la répartition la plus probable sortira de plus en plus rarement; mais, d'autre part, les écarts relatifs seront de plus en plus faibles; il en résulte que l'immense majorité des répartitions seront différentes les unes des autres, mais très voisines de la plus probable.

Il faut bien le remarquer, ceci est général et ne repose que sur les résultats de l'analyse combinatoire.

50. Il est important de calculer les *fluctuations* dans une même case, c'est-à-dire la loi des écarts du nombre n_i autour du nombre moyen $n_0 \bar{p}_i$.

La Théorie des Probabilités nous fournit immédiatement les relations voulues.

On a, entre l'*écart absolu* h et l'*écart relatif* λ :

$$h = n_i - n_0\bar{p}_i = \lambda \sqrt{2n_0\bar{p}_i(1 - \bar{p}_i)} ,$$

et la probabilité pour que λ soit compris entre deux valeurs λ_1 et λ_2 sera donnée par l'expression connue, au moyen de la fonction $\Theta(\lambda)$:

$$\frac{1}{2}[\Theta(\lambda_2) - \Theta(\lambda_1)] = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} e^{-\lambda^2} d\lambda ,$$

h peut varier de $h_1' = -\frac{n_0}{K}$, pour $n_i = o$, à $h_2' = n_0\left(1 - \frac{1}{K}\right)$, pour $n_i = n_0$; on pourra, de là, calculer les valeurs extrêmes λ_1' et λ_2' que peuvent prendre λ_1 et λ_2. Dans la pratique, on les confond avec $-\infty$ et $+\infty$.

51. Appliquons ces formules au brassage simple. On a dans ce cas :

$$\bar{p}_i = \text{const} = \frac{1}{K} ,$$

et nous supposerons K assez grand pour qu'on puisse négliger $\frac{1}{K}$ devant l'unité, mais assez petit pour que $\frac{n_0}{K}$ soit très grand. Enfin, avec Smoluchowski, nous prendrons comme variable, au lieu de λ, la *condensation* γ, définie par

$$\gamma = \frac{n_i - \frac{n_0}{K}}{\frac{n_0}{K}} = \lambda \sqrt{\frac{2K}{n_0}} .$$

Les valeurs extrêmes que pourront prendre γ_1 et γ_2 seront respectivement -1 et $(K - 1)$, et celles correspondantes de λ, approximativement, $-\infty$ et $+\infty$. La valeur moyenne de la condensation absolue sera :

$$\bar{\gamma} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} \left| \lambda \sqrt{\frac{2K}{n_0}} \right| e^{-\lambda^2} d\lambda = \sqrt{\frac{2K}{\pi n_0}} .$$

$\bar{\gamma}$ est la moyenne prise à un même instant entre les K cases; c'est aussi la moyenne d'une même case aux instants t_0, $t_0 + \tau$, $t_0 + 2\tau, \ldots, t_0 + (K - 1)\tau$.

52. Appliquons cette dernière formule à un gaz parfait, en supposant que les points représentent des molécules. Soit V le volume total du gaz; v le volume d'une case; on a :

$$K = \frac{V}{v}.$$

Mettons-nous dans les conditions dites normales, et prenons $V = 1\ \text{cm}^3$; $v = 1\ \mu^3$; $n_0 = 3.10^{19}$; $K = 10^{12}$, d'où

$$\bar{\gamma} = 1{,}4.10^{-4}.$$

La condensation « devient de l'ordre du millième pour les plus petits cubes résolubles au microscope. Quelle que soit la densité du gaz, cet écart moyen sera d'environ 1 pour 100 dans un volume contenant 6.000 molécules » (Perrin).

§ 6.

Application du brassage parfait a un système physique défini par un nombre énorme de paramètres. — Postulat fondamental. — Le « *Désordre moléculaire* », notion limite. — Fonction H et entropie statistique.

53. A l'origine, réagissant contre les méthodes abstraites de la Thermodynamique classique, les cinétistes essayèrent d'établir les lois de cette science en pénétrant la constitution même de la matière. Ils parvinrent ainsi à de fort beaux résultats. Mais, sitôt les premiers pas franchis, les difficultés devinrent inextricables, et, aujourd'hui encore, nos connaissances sur la structure intime des molécules et des atomes sont très rudimentaires.

J.-W. Gibbs fit alors justement remarquer que les propriétés thermodynamiques sont des propriétés d'ensemble, indépendantes dans une très large mesure des accidents du sous-sol moléculaire, qu'en définitive, ces propriétés ont un caractère

statistique qui doit permettre leur établissement sans la connaissance de cette structure intime. Et le physicien américain en fournit une preuve en créant sa célèbre *Mécanique statistique*.

Comme nous l'avons déjà exposé, la méthode de Gibbs consiste à adjoindre au système que l'on étudie, un nombre énorme de systèmes identiques, de façon à former un *ensemble* de systèmes obéissant tous aux mêmes lois, mais qui, envisagés à un même instant, sont dans des états qui diffèrent d'un individu à l'autre. On cherchera alors à former un *type moyen*, qu'on obtiendra en déterminant les propriétés moyennes de l'ensemble considéré. Enfin, on déterminera les conditions qui permettent, sans erreur sensible, de substituer le type moyen au système donné.

Dans notre exposé, nous nous inspirerons d'idées analogues. Mais, alors que la théorie de Gibbs ne s'applique qu'à la Mécanique, les résultats auxquels nous parviendrons seront tout à fait généraux.

54. Si l'on considère un système physique défini par un nombre *énorme*, r de paramètres $x_1, \ldots, x_r$ fonctions du temps, ce système, abstraction faite des cas de dégénérescence, apparaîtra d'une *complication* extrême. En nous basant sur les considérations développées dans la première partie de ce travail, nous pourrons énoncer et admettre d'une façon générale, le postulat suivant :

Postulat fondamental. — *Lorsqu'un système physique est défini par un nombre énorme,* r, *de paramètres, les lois qui donnent les variations de ces paramètres en fonction du temps, sont, en général, si compliquées, qu'on peut, sans erreur sensible, passer à la limite, supposer la complication infinie, et admettre que ces* r *paramètres sont soumis à un brassage parfait compatible avec les liaisons.*

Ce passage à la limite nous permettra d'appliquer la méthode du hasard objectif énoncée au n° 19, pour étudier les propriétés d'ensemble du système donné.

Nous donnerons à l'intervalle de temps τ le nom d'*intervalle de relaxation*. Lorsque cet intervalle est convenablement choisi, les états successifs par lesquels passe le système aux époques

t_0, $t_0 + \tau$, ... pourront être dits « *indépendants* » les uns des autres avec une très grande approximation.

55. Nous avons déjà donné au n° 20 un exemple d'ordre de grandeur pour τ.

On peut tirer un exemple intéressant de la théorie cinétique des gaz.

Supposons que nous soyons en mesure de pointer les positions des molécules d'un gaz, comme M. Perrin, celles des particules browniennes. Appelons θ le temps de libre parcours moyen entre deux chocs. Si nous faisions les pointés à des intervalles

$$\tau = \frac{1}{100}\theta ,$$

par exemple, nous obtiendrions un grand nombre de points en ligne droite : la complication serait insuffisante. On aurait beaucoup mieux en prenant

$$\tau = 100\,\theta .$$

Mais si le volume du gaz n'est pas très petit, l'extrême lenteur des phénomènes de diffusion nous montre que l'on doit prendre τ énormément plus grand si l'on veut avoir une relaxation convenable. Il faut, en effet, laisser le temps à une même molécule d'aller au moins une fois, en moyenne, d'un bout à l'autre du récipient qui contient le gaz.

56. Remarquons que l'on pourrait appliquer à une molécule d'un gaz la relation limite, valable pour une complication infinie :

$$\frac{\overline{x^2}}{\tau} = \text{const} ,$$

qu'Einstein a donnée pour les particules browniennes; dans cette relation, $\overline{x^2}$ désigne le carré moyen des projections sur un axe des déplacements de la molécule pendant les intervalles τ.

57. Le passage à la limite sur lequel repose notre postulat fondamental, est analogue à celui que faisait implicitement Boltzmann en postulant le « *désordre moléculaire* ». Or, il est très choquant de l'introduire comme *hypothèse physique :* pourquoi la Nature serait-elle ordonnée, obéirait-elle à des lois déterminées dans les phénomènes à notre échelle, tandis qu'elle ne

serait que désordre et chaos à l'échelle moléculaire? Aussi bien, est-il préférable de l'introduire comme concept mathématique, s'appliquant plus ou moins approximativement aux cas réels.

58. Le problème, maintenant, consiste à établir convenablement les formules du brassage.

En général, les paramètres seront liés les uns aux autres par certaines relations dont nous devrons tenir compte, autrement dit, ces paramètres ne seront pas complètement indépendants. Comment tenir compte de cette dépendance?

Ici, la représentation dans l'hyperespace nous sera précieuse.

Suivons, par la pensée, le système dans son évolution au cours du temps. A un instant t_1, le système sera dans un certain état, et le point représentatif occupera une position bien déterminée dans l'espace à r dimensions : il sera dans une certaine case du domaine $\mathfrak{D}_r$. A l'instant $t_1 + \tau$, le système sera, en général, dans un état différent du premier, et le point représentatif occupera une nouvelle position : il sera dans une autre case, et ainsi de suite.

Si donc nous envisageons un très grand nombre d'époques :

$$t_1, t_1 + \tau, t_1 + 2\tau, \ldots, t_1 + (n_0 - 1)\tau ,$$

et si nous ne portons notre attention sur le point qu'à ces moments-là, celui-ci nous semblera, après chaque temps τ, avoir « sauté » d'une position à une autre. Si les lois du système sont suffisamment compliquées et si τ est choisi suffisamment grand, toutes ces positions nous sembleront plus ou moins « indépendantes » les unes des autres, selon les liaisons.

Marquons ces positions dans l'hyperespace, et considérons-les *à la fois*. Nous obtenons un ensemble de n_0 points. Ils formeront une certaine répartition R_1.

Nous pouvons recommencer la même opération à partir d'un autre instant t_2, et envisager de nouveau n_0 époques :

$$t_2, t_2 + \tau, t_2 + 2\tau, \ldots, t_2 + (n_0 - 1)\tau .$$

En considérant *à la fois* les n_0 positions occupées successivement, nous obtenons encore un ensemble de n_0 points; ils formeront une nouvelle répartition R_2, en général différente de la première.

Nous pouvons recommencer la même opération un nombre énorme de fois, N_0, et obtenir de la sorte N_0 répartitions en général différentes :

$$R_1, R_2, R_3, \ldots, R_{N_0},$$

qu'on peut considérer, avec une grande approximation, d'après le postulat fondamental, comme N_0 répartition d'un même ensemble de n_0 points soumis à un brassage parfait approprié.

Comme n_0 est un nombre très grand, aussi grand que nous voulons, l'immense majorité des répartitions seront très voisines de la répartition la plus probable, $\overline{R}$, compatible avec les liaisons.

Ainsi, le problème se ramène au suivant : déterminer la répartition la plus probable des points de l'ensemble envisagé, compatible avec les liaisons.

C'est celui que nous avons traité au paragraphe précédent. En supposant qu'il n'y a qu'une liaison de la forme (I_3'), la condition (3) n° 48 nous donnera, avec les relations (I_2') et (I_3'), la valeur de $\mathfrak{p}$ cherchée, c'est-à-dire la probabilité objective moyenne d'état en fonction de $\varphi(x_1, \ldots, x_r)$, ce que nous écrirons :

$$\overline{\mathfrak{p}} = F(\varphi(x_1, \ldots, x_r)),$$

où F désigne une certaine fonction de $\varphi(x_1, \ldots, x_r)$.

Il nous reste à déterminer la forme de cette fonction.

A cet effet, envisageons le système de relations :

$$(\mathrm{II})\quad \begin{cases} (\mathrm{II}_1) & \mathsf{H} = \sum\limits_{\mathfrak{D}_r} \mathfrak{p} \log \mathfrak{p}, \\ (\mathrm{I}'_2) & 1 = \sum\limits_{\mathfrak{D}_r} \mathfrak{p}, \\ (\mathrm{I}'_3) & \overline{\varphi} = \sum\limits_{\mathfrak{D}_r} \mathfrak{p}\varphi. \end{cases}$$

Pour toute répartition, la fonction H aura une valeur bien déterminée. Ce sera la valeur moyenne, $\overline{\log \mathfrak{p}}$, de $\log \mathfrak{p}$ pour

cette répartition. Si celle-ci est la plus probable, la fonction H prendra la valeur particulière :

$$\bar{\mathsf{H}} = \overline{\log \mathfrak{p}} .$$

Déterminons, d'autre part, la valeur *minimum* de H compatible avec les relations (I_2') et (I_3'). En suivant une marche déjà indiquée. on trouve que ce minimum a lieu lorsque :

$$(4) \qquad \sum_{\mathfrak{T}_r} \left\{ \log \mathfrak{p} + 1 + \bar{\alpha} + \bar{\beta}\varphi(x_1, \ldots, x_r) \right\} d\mathfrak{p} = 0 ,$$

c'est-à-dire pour :

$$\bar{\mathfrak{p}}' = e^{-1-\bar{\alpha}-\bar{\beta}\varphi(x_1, \ldots, x_r)}$$

où $\bar{\alpha}$ et $\bar{\beta}$ désignent deux multiplicateurs.

Comparons l'équation (4) à l'équation (3). Les multiplicateurs α, β, $\bar{\alpha}$, $\bar{\beta}$ dépendent des liaisons, c'est-à-dire sont des constantes caractéristiques du système physique donné.

1° *Brassage simple.* Dans ce cas (cf n° 49), $\bar{\mathfrak{p}}$ est constant et ne dépend pas de n_0 ; on peut donc prendre n_0 aussi grand qu'on veut. le second terme de (3) tendra vers 0, et l'on aura :

$$\lim_{n_0=\infty} \frac{\alpha}{n_0} = \bar{\alpha} ,$$

d'où

$$\bar{\mathfrak{p}}_0 = \bar{\mathfrak{p}}'_0 = e^{-1-\bar{\alpha}} = \frac{1}{K} .$$

2° *Brassage avec liaison.* Il faut, dans ce cas, que $\bar{\alpha}$ et $\bar{\beta}$ ne dépendent pas de n_0, sinon le problème envisagé n'aurait aucun sens. En effet, ici encore, rien ne nous limite la valeur de n_0, que nous pouvons prendre aussi grande que nous voulons. En le faisant, nous précisons simplement les différentes répartitions $R_1 \ldots R_{N_0}$, c'est-à-dire l'*évolution moyenne* du système, et celle-ci n'existera et l'on ne pourra parler de propriétés moyennes que si ces propriétés ne dépendent pas de n_0, lorsque n_0 est suffisamment grand. Il faut donc que :

$$\lim_{n_0=\infty} \frac{\alpha}{n_0} = \bar{\alpha} \quad , \quad \lim_{n_0=\infty} \frac{\beta}{n_0} = \bar{\beta} ;$$

on peut dire que $\bar{\alpha}$ et $\bar{\beta}$ caractérisent le *type moyen,* et on doit avoir, à la limite :

$$\bar{\mathfrak{p}} = \bar{\mathfrak{p}}' .$$

Ainsi :

Lorsque nous considérons le système physique donné à un certain instant t, *la probabilité objective moyenne pour que le système soit, à cet instant, dans l'état ou le voisinage de l'état* $x_1, \ldots, x_r$, *est :*

$$\bar{\mathfrak{p}} = e^{-1-\bar{\alpha}-\bar{\beta}\xi(x_1, \ldots, x_r)} .$$

Nous avons, de la sorte, déterminé la forme de la fonction F, et nous voyons que :

La probabilité objective moyenne d'état d'un système physique, est celle qui rend minimum la fonction :

$$\mathsf{H} = \overline{\log \mathfrak{p}} .$$

59. Connaissant la fonction $\bar{\mathfrak{p}}$, la formule (2) nous permettra de calculer la valeur correspondante, $\bar{P}$, de la probabilité de la répartition la plus probable des n_0 points; cette probabilité dépend de n_0, évidemment. Dans la suite, elle n'interviendra pas.

60. *Nous appellerons* entropie statistique *d'un système physique, la fonction* — H, *c'est-à-dire le logarithme moyen pris négativement de la probabilité d'état :*

$$(5) \qquad - \mathsf{H} = - \overline{\log \mathfrak{p}} ,$$

C'est une notion purement « cinématique » (cf n° 45).

La valeur la plus importante de l'entropie statistique est celle qui est relative à la probabilité moyenne d'état :

$$- \mathsf{H} = - \overline{\log \bar{\mathfrak{p}}} .$$

C'est en même temps la valeur *maximum* de — H. Elle correspond à la répartition la plus probable des n_0 points. En Thermodynamique, elle caractérise les états d'équilibre.

61. Si nous posons :

$$\bar{\bar{\mathfrak{p}}} = e^{-1-\bar{\alpha}-\bar{\beta}\xi} ,$$

on aura les relations :

$$(6) \qquad \overline{\mathsf{H}} = \overline{\log \bar{\bar{\mathfrak{p}}}} = \log \bar{\bar{\mathfrak{p}}} .$$

§ 7.

Introduction de variables continues.

62. Les résultats des paragraphes précédents reposent sur des considérations essentiellement discontinues. C'est dans l'esprit même du Calcul des Probabilités.

Or, pour une catégorie importante d'applications, les sommes qui entrent dans les formules trouvées, peuvent être calculées avec une approximation suffisante à l'aide d'intégrales. Conformément au point de vue ci-dessus, nous n'envisageons l'introduction de ces intégrales que comme moyen de calcul, ne devant changer en rien la nature de nos considérations qui conservent, malgré cela, leur caractère essentiellement discontinu (cf § 9).

63. Pour introduire le continu dans ces formules, nous devrons faire un certain nombre d'hypothèses. Nous ferons les suivantes :

1° La fonction $\varphi(x_1, \ldots, x_r)$ est une fonction *continue* des paramètres $x_1, \ldots, x_r$, envisagés comme des variables *continues ;* le domaine $\mathfrak{D}_r$ pourra alors être divisé en K domaines élémentaires, quelque grand que soit K.

2° Toutes les distributions auxquelles nos calculs s'appliqueront devront jouir des propriétés qui suivent : *a)* tous les n_i seront assez grands pour que les formules (II) soient valables; *b)* ils devront être assez petits pour que les rapports

$$\mathfrak{p}_i = \frac{n_i}{n_0}$$

soient très petits. Ceci exigera que le nombre K soit très grand et que les distributions considérées soit très voisines de la distribution la plus probable. Alors il n'y aura pas de saut brusque entre deux cases adjacentes.

Considérons maintenant une distribution particulière, où tous les n_i sont connus. Il nous sera possible de déterminer une fonction continue $p(x_1, \ldots, x_r)$ des coordonnées $x_1, \ldots, x_r$, telle

que, pour une case i de volume $\Delta\omega = \Delta x_1, \ldots, \Delta x_r$ et de coordonnées $x_1, \ldots, x_r$, on ait :

$$\mathfrak{p}(x_1, \ldots, x_r) = p(x_1, \ldots, x_r)\Delta\omega .$$

C'est la probabilité pour qu'un des n_0 points, désigné à l'avance, soit parmi ceux du domaine élémentaire n° i. On peut dire aussi que c'est la probabilité pour que ce point ait ses coordonnées comprises entre :

$$x_1 \text{ et } x_1 + \Delta x_1 , \quad x_2 \text{ et } x_2 + \Delta x_2 , \quad \ldots , \quad x_r \text{ et } x_r + \Delta x_r .$$

Nous appellerons $p\ (x_1, \ldots, x_r)$ le *coefficient de probabilité objective d'état.*

64. Transformons, dans ces hypothèses, les formules (II). La relation (II_1) donne :

$$\mathsf{H} = \sum_{\mathfrak{D}_r} p \log p\,\Delta\omega + \log \Delta\omega \sum_{\mathfrak{D}_r} p\,\Delta\omega .$$

D'après l'équation (I_2'), la seconde somme est égale à l'unité.

Pour évaluer approximativement la première somme, nous la remplacerons par une intégrale et nous négligerons l'erreur commise. Nous ferons de même pour les deux autres relations. De cette façon, nous obtiendrons, en appelant x_1', x_1'', ..., x_r', x_r'' les valeurs que prennent les paramètres à la frontière du domaine $\mathfrak{D}_r$, le système :

$$(\mathrm{II}') \left\{ \begin{aligned} \mathsf{H} &= \int_{x_1'}^{x_1''} \cdots \int_{x_r'}^{x_r''} p(x_1, \ldots, x_r) \log p(x_1, \ldots, x_r) dx_1 dx_2 \ldots dx_r + \log \Delta\omega , \\ 1 &= \int_{x_1'}^{x_1''} \cdots \int_{x_r'}^{x_r''} p(x_1, \ldots, x_r) dx_1 dx_2 \ldots dx_r , \\ \overline{\varphi} &= \int_{x_1'}^{x_1''} \cdots \int_{x_r'}^{x_r''} p(x_1, \ldots, x_r) \varphi(x_1, \ldots, x_r) dx_1 dx_2 \ldots dx_r . \end{aligned} \right.$$

A la constante $\log \Delta\omega$ près, H est la valeur moyenne du logarithme du coefficient de probabilité d'état, de même que $\overline{\varphi}$ est la valeur moyenne de la fonction φ.

65. Parmi toutes les formes que peut prendre la fonction p, il

nous importera surtout de connaître celle qui correspond à la probabilité objective moyenne d'état. Nous la désignerons par $\bar{p}\,(x_1, \ldots, x_r)$, et nous l'appellerons le *coefficient moyen de probabilité objective d'état.* L'expression $\bar{p}\,(x_1, \ldots, x_r)\ \Delta\omega$ sera le rapport du nombre le plus probable de points contenus dans la case i, au nombre total des points.

D'après l'exposé du paragraphe précédent, $\bar{p}\,(x_1, \ldots, x_r)$ est la fonction qui donne à H un minimum compatible avec (I_2') et (I_3'). En exprimant ces conditions, le Calcul des Variations nous fournit :

$$
\text{(III)}\quad \left\{
\begin{aligned}
\bar{p}(x_1, \ldots, x_r) &= e^{-1-\alpha-\beta\varphi(x_1, \ldots, x_r)}\,, \\
1 &= e^{-1-\alpha}\int_{x_1'}^{x_1''}\!\!\cdots\int_{x_r'}^{x_r''} e^{-\beta\varphi(x_1, \ldots, x_r)}dx_1, \ldots, dx_r\,, \\
\bar{\varphi} &= e^{-1-\alpha}\int_{x_1'}^{x_1''}\!\!\cdots\int_{x_r'}^{x_r''} e^{-\beta\varphi(x_1, \ldots, x_r)}\varphi(x_1, \ldots, x_r)dx_1 \ldots dx_r\,.
\end{aligned}
\right.
$$

Dans ce système, la première relation donne la forme de $\bar{p}\,(x_1, \ldots, x_r)$, tandis que les deux autres permettent de déterminer les valeurs des multiplicateurs α et β, lorsque la fonction $\varphi\,(x_1, \ldots, x_r)$ et la constante $\bar{\varphi}$ sont connues.

66. *L'entropie sera une fonction linéaire du logarithme moyen du coefficient de probabilité d'état.*

La relation (5) donne en effet :

$$-\,\mathsf{H} = -\,\overline{[\log p + \log \Delta\omega]}\,,$$

et en posant :

$$\bar{\bar{p}} = e^{-1-\alpha-\beta\bar{\varphi}}\,,$$

on aura pour la valeur maximum de l'entropie statistique :

$$-\,\bar{\mathsf{H}} = -\,\left[\log \bar{\bar{p}} + \log \Delta\omega\right].$$

§ 8.

Remarques sur un ensemble de points et les ensembles de leurs projections sur un axe. — Produit de probabilités et probabilité composée. — Application au tir a la cible. — Entropie d'un tir et d'une mesure. — Paradoxe de Bertrand.

67. Considérons les n_0 points répartis dans le domaine $\mathfrak{D}_r$. A chaque point de l'espace correspond un point, que nous nommerons *point-coordonnée,* sur chacun des r axes d'un système de coordonnées rectangulaires de l'espace à r dimensions; il y a donc en tout rn_0 points-coordonnées.

Quelle relation y a-t-il entre la répartition des points dans l'espace et celles des points-coordonnées sur les axes ?

Pour fixer les idées, nous supposerons que le domaine $\mathfrak{D}_r$ est un hyperparallélipipède à r dimensions, et nous prendrons r arêtes aboutissant à un même sommet comme axe des $x_1, x_2, \ldots, x_r$. Nous diviserons le parallélipipède en K cases parallélipipédiques identiques au moyen de plans parallèles aux faces. Il y aura alors K_1 segments égaux sur l'axe des x_1, K_2 sur l'axe des x_2, etc., tels que

$$K_1 K_2 \ldots K_r = K .$$

Ceci posé, voyons quelle correspondance on peut établir entre les points dans l'espace et les points-coordonnées sur les axes.

Nous distinguerons deux manières :

1° La *manière individuelle.* On suppose alors les points et les points-coordonnées numérotés de façon correspondante. Il en résulte que si l'on se donne les projections sur les axes, les points dans l'espace seront déterminés sans ambiguité, et vice-versa. On aura, dans ce cas, une relation entre les probabilités des répartitions individuelles des points-coordonnées sur les axes et la probabilité de la répartition individuelle des points

dans l'espace; cette dernière probabilité n'est autre, effectivement, que la probabilité composée :

$$\frac{1}{K_1^{n_0}}\frac{1}{K_2^{n_0}}\cdots\frac{1}{K_r^{n_0}}=\frac{1}{K^{n_0}}.$$

2° Il n'en sera pas de même dans la *manière globale,* où l'on ne tient pas compte de l'individualité des points. En effet, si l'on donne les points dans l'espace, les points-coordonnées, c'est-à-dire leurs projections sur les axes et les distributions globales qu'ils forment, peuvent être déterminées sans ambiguité; en particulier, si les points sont uniformément distribués, leurs projections le seront aussi. Mais l'inverse n'a pas lieu : à rn_0 points sur les r axes, on pourra faire correspondre n_0^r points différents dans l'intérieur du parallélipipède, lesquels donneront

$$\frac{n_0^r!}{n_0!\,(n_0^r-n_0)!},$$

répartitions globales différentes; en particulier, à des points-coordonnées uniformément distribués, on pourra faire correspondre des points non uniformément répartis dans l'espace. Ainsi :

La probabilité d'une répartition globale de points dans l'espace ne peut être déduite des probabilités des répartitions globales de leurs projections sur les axes, considérées comme indépendantes (1).

D'où la nécessité, dans les applications, de raisonner sur les points dans l'espace et non sur leurs projections.

68. Nous allons présenter ce résultat sous une forme un peu différente.

Envisageons une répartition globale définie par la fonction $p(x_1, \ldots, x_r)$. Choisissons parmi les n_0 points, un point M bien déterminé. La probabilité pour que ce point soit justement parmi ceux occupant un parallélipipède élémentaire de volume $\Delta x_1'\,\Delta x_2'\ldots\Delta x_r' = \Delta\omega'$ et de coordonnées $x_1', x_2', \ldots, x_r'$, sera $p(x_1', \ldots, x_r')\,\Delta\omega'$.

Supposons que la probabilité pour que le point-coordonnée x_1 de M soit parmi les points-coordonnées occupant le segment $\Delta x_1'$,

(1) Cf la note du n° 68.

ou, plus simplement, pour que la coordonnée x_1 ait une valeur comprise entre x_1' et $x_1' + \Delta x_1'$, ne dépende que de la variable x_1 et non des autres variables $x_2, \ldots, x_r$, et désignons par $p_1(x_1')\,\Delta x_1'$ cette probabilité. Quelle signification précise convient-il de lui donner ? Menons deux plans perpendiculaires à l'axe des x_1, l'un à la distance x_1', l'autre à la distance $x_1' + \Delta x_1'$ de l'origine. Nous interceptons ainsi un certain espace de l'hyperparallélipipède que nous appellerons « tranche $\Delta x_1'$ ». Soit n_1 le nombre de points contenus dans cette tranche ; n_1 est en même temps le nombre de points-coordonnées projetés sur le segment $\Delta x_1'$. La probabilité pour que le point M se trouve parmi les points de la tranche $\Delta x_1'$ est $\frac{n_1}{n_0}$, et ce rapport donne aussi la probabilité pour que x_1' soit dans $\Delta x_1'$. On a donc

$$p_1(x_1')\,\Delta x_1' = \frac{n_1}{n_0},$$

et il existe la relation suivante entre p_1 et p :

$$p_1(x_1')\Delta x_1' = \Delta x_1' \int_0^{a_2} \cdots \int_0^{a_r} p(x_1', x_2, x_3, \ldots, x_r)\,dx_2 dx_3 \ldots dx_r,$$

où $a_2, \ldots, a_r$ sont les longueurs des arêtes sur les axes $x_2, \ldots, x_r$.

Supposons que nous puissions faire de même pour les $(r-1)$ axes restants. Nous aurons en tout r fonctions : $p_1(x_1)$, $p_2(x_2), \ldots, p_r(x_r)$, chacune d'elles se rapportant à un axe. Par exemple, $p_2(x_2')\,\Delta x_2'$ représente la probabilité pour que le point M se trouve parmi ceux de la tranche $\Delta x_2'$. *On ne peut pas dire* que le produit

$$p_1(x_1')\,p_2(x_2')\,\Delta x_1'\Delta x_2'$$

représente la *probabilité composée* pour que M se trouve à la fois parmi les points de la tranche $\Delta x_1'$ et parmi ceux de la tranche $\Delta x_2'$, donc dans la partie commune aux deux tranches. Le théorème des probabilités composées ne s'applique pas du tout. Pourquoi ? Pour la simple raison qu'il n'y a pas là matière à *deux événements,* mais à *un seul.*

On peut le voir clairement à l'aide de *deux* tirages dans une urne, correspondant aux deux tranches. Considérons une urne qui renferme n_0 boules identiques dont une est marquée M, et extrayons n_1 boules de l'urne. La probabilité pour que la boule M soit justement parmi les n_1 boules extraites, est $\frac{n_1}{n_0}$. Appelons n_{12} le nombre de points communs aux deux tranches. Nous devons aux n_1 boules tirées en soustraire n_{12}; ce seront celles qui devront faire partie des n_2 boules du second tirage correspondant aux n_2 points de la seconde tranche. Or, ces n_{12} boules étant déjà sorties au premier tirage, le fait que la boule M se trouve ou ne se trouve pas parmi elles, ne peut dépendre du second tirage.

Nous voyons donc que l'*indépendance* des probabilités $p_1(x_1)\Delta x_1$ et $p_2(x_2)\Delta x_2$ n'est vraie qu'*analytiquement : géométriquement* les ensembles de points ont entre eux certaines relations [1], et Bertrand avait parfaitement raison de dénoncer comme absurdes les raisonnements tendant à démontrer *a priori,* en se basant sur le théorème des probabilités composées, la loi de répartition des points d'impact sur une cible ou la loi de répartition des vitesses de Maxwell.

En résumé, le fait qu'une probabilité fonction de plusieurs variables est décomposable en un produit de fonctions ne dépendant chacune que d'une des variables, constitue une condition nécessaire mais non suffisante pour que cette probabilité soit une probabilité composée.

[1] Cette remarque touche à la notion encore si obscure des espaces géométriques considérés comme des *continus à 1, 2, 3, ..., r dimensions.* Quand on se sert d'un hyperespace à r dimensions pour représenter les variations de r variables dites « indépendantes », on introduit implicitement certaines *liaisons* entre ces variables. Poincaré exprime une idée analogue dans ses *Dernières Pensées*, p. 64 : « Pour définir le continu à r dimensions, nous avons d'abord la définition analytique; un continu à r dimensions est un ensemble de r quantités susceptibles de varier *indépendamment* l'une de l'autre et de prendre toutes les valeurs réelles satisfaisant à certaines inégalités. Cette définition, irréprochable au point de vue mathématique, ne saurait pourtant nous satisfaire entièrement. Dans un continu, les diverses coordonnées ne sont pas pour ainsi dire juxtaposées les unes aux autres, elles sont liées entre elles de façon à former les divers aspects d'un tout ».

69. Comme exemple, prenons le *tir à la cible,* en supposant, pour simplifier, que les déviations en portée et en direction sont les mêmes. Alors la courbe moyenne autour du but O est un cercle de rayon ρ. Faisons passer par O un système d'axes $Ox Oy$. La répartition des points d'impact est donnée par la fonction

$$p(x\,;\,y) = \frac{1}{\pi\varrho^2}\, e^{-\frac{1}{\rho^2}(x^2+y^2)}$$

décomposable en deux autres :

$$p_x(x) = \frac{1}{\varrho\sqrt{\pi}}\, e^{-\frac{1}{\rho^2}x^2} \quad ; \qquad p_y(y) = \frac{1}{\varrho\sqrt{\pi}}\, e^{-\frac{1}{\rho^2}y^2} \quad .$$

Divisons le plan de la cible en cases carrées d'égale surface σ, par des systèmes de parallèles aux axes. Soit x', y' les coordonnées du centre de l'une d'elle et $\Delta x'$, $\Delta y'$ ses côtés. Soient n_0 le nombre total des points d'impact, n' le nombre de ces points dans la case (x', y') et M l'un d'eux. La probabilité pour que le point M se trouve parmi les points de la case considérée, est :

$$\frac{n'}{n_0} = p(x', y')\Delta x'\Delta y' \quad .$$

Supposons le centre de la case sur l'axe des x, à la distance x' de l'origine. La probabilité pour que le point se trouve dans cette case est $p\,(x', o)\,\Delta x'\,\Delta y'$, et non pas $p_x\,(x')\,\Delta x'$. Cherchons la probabilité pour que M se trouve parmi les points d'une bande parallèle à l'axe des y. On trouve facilement

$$\Delta x' \int_{-\infty}^{+\infty} p(x', y)\, dy = \Delta x' p_x(x') \;,$$

conformément à ce que nous avons vu ci-dessous.

Enfin, on voit que toute case est formée par l'intersection de deux bandes parallèles aux axes, et que la répartition des points dans l'une des bandes dépend des répartitions de toutes les bandes qui lui sont perpendiculaires.

L'entropie statistique de l'ensemble est :

$$-\,\mathrm{H} = \log \frac{\pi e \varrho^2}{\sigma} \quad .$$

Elle est d'autant plus grande que la surface du cercle moyen est plus grande, c'est-à-dire que le tir est plus mauvais. On sait que plus l'énergie d'un système physique est de « qualité » inférieure, plus l'entropie du système est grande; l'entropie mesure une qualité. Or, il n'existe pas encore de procédé permettant de classer équitablement les tireurs dans un concours. Il serait intéressant de voir si l'entropie pourrait rendre quelques services. Nous laisserons cette question aux spécialistes.

70. Il est curieux aussi de calculer l'entropie d'une *mesure*. On trouve aisément

$$-\mathsf{H} = \log \frac{\sqrt{\pi e}}{k\varkappa},$$

où k est ce que l'on appelle la « précision » et où $\varkappa$ est le domaine élémentaire, dont la signification est facile à reconnaître. L'entropie d'une mesure est d'autant plus grande que la précision est plus faible, conformément à la règle.

71. Nous pouvons résumer les idées générales exposées dans ce paragraphe, en disant que *lorsqu'on raisonne sur les probabilités de situation d'un point, on ne doit jamais oublier qu'on postule par là-même l'existence d'un ensemble de points jouissant de certaines propriétés.*

72. L'oubli de cette remarque a conduit à de curieux paradoxes. Un des plus fameux est celui de Bertrand :

« On trace au hasard une corde dans un cercle. Quelle est la probabilité pour qu'elle soit plus grande que le côté du triangle équilatéral inscrit ? »

Soit AM cette corde.

On peut dire : si l'un des points, A, de cette corde est connu, ce renseignement ne change pas la probabilité; la symétrie du cercle ne permet d'y attacher aucune influence, favorable ou défavorable à l'arrivée de l'événement demandé.

1° Choisissons A quelque part sur la circonférence. Traçons le triangle équilatéral inscrit ABC ayant A pour un des sommets. Pour que l'événement se produise, il faut que le point M soit parmi les points de l'arc BC. Si nous postulons que les points sont uniformément distribués sur la circonférence, la probabilité cherchée sera $\frac{1}{3}$.

2° Supposons A à l'infini, c'est-à-dire donnons-nous une certaine direction. Traçons le diamètre perpendiculaire à cette direction et divisons-le en quatre segments égaux. Pour que l'événement se produise, il faut que le point M se trouve parmi les points des deux segments centraux. Si nous postulons que les points sont uniformément répartis sur le diamètre, la probabilité cherchée sera $\frac{1}{2}$.

Or, les deux conventions que nous venons de faire sont incompatibles. A des points uniformément répartis sur la circonférence, on ne peut faire correspondre des points uniformément répartis sur un diamètre. Si le mouvement d'un mobile sur une circonférence est uniforme, le mouvement de sa projection sur un diamètre sera sinusoïdal.

§ 9.

Remarques sur le continu et le discontinu. — Hypothèse des quanta. — Expressions analytiques de l'énergie rayonnante et de l'énergie cinétique.

73. Avant d'aborder l'application du brassage parfait à l'étude de la Thermodynamique, nous présenterons quelques remarques sur les notions de continu et de discontinu [1].

En Physique, nons sommes amenés à faire usage de l'une ou l'autre de ces notions, selon l' « échelle » à laquelle nous nous plaçons pour étudier un phénomène.

Ainsi, considérons par exemple un cube d'or posé sur un cube d'argent. Dans les applications usuelles nous envisageons ces solides comme des solides parfaits, et l'on imagine une « étanchéité » absolue, une « surface de discontinuité » entre les deux faces au contact.

Mais cette manière de voir, qui fut la primitive, ne rend pas

[1]) Voir la profonde étude de M. J.-H. Boex-Borel (J.-H. Rosny aîné) intitulée : *Le Pluralisme, Essai sur la Discontinuité et l'Hétérogénéité des Phénomènes*, Paris, 1909, F. Alcan, éditeur.

compte de toutes les particularités que l'on observe. L'expérience nous montre d'abord que les matières *agissent* l'une sur l'autre ; elles se pénètrent mutuellement ; l'or diffuse dans l'argent et l'argent dans l'or. Nous appelons la continuité à notre secours en remplaçant la surface de séparation *infiniment* mince par une couche d'épaisseur finie, mais très petite, une « *couche de passage* » comme on l'appelle, de manière que la densité métallique varie d'une façon continue de l'or pur à l'argent pur, d'un cube à l'autre à travers la couche.

Mais, lorsque nous voulons aller plus avant dans l'étude de la matière, nous sommes conduits à envisager une masse métallique non comme un continu, mais comme un agrégat de particules discrètes extrêmement ténues. Si, maintenant, nous nous plaçons à leur échelle, la « couche de passage » elle-même ne nous apparaîtra pas comme continue, mais comme formée de telles particules ; sa structure ultime est donc discontinue.

Avons-nous ainsi atteint la discontinuité mathématique ? Le physicien ne peut adopter ce point de vue. Les particules *agissent* les unes sur les autres, il faut donc admettre qu'elles communiquent, qu'il n'y a pas d'étanchéité parfaite entre elles. Nous sommes de nouveau conduits à imaginer une « couche de passage » ; ce sera une pellicule extrêmement mince entre la particule et son ambiance : matière ou éther.

Et ainsi de suite.

En résumé, dans le monde physique, nous trouverons des variations assez insensibles ou des sauts assez brusques pour que, par simplification et pour grouper les phénomènes commodément, nous passions *à la limite,* et nous introduisions le continu ou le discontinu. La lenteur d'une variation ou la brusquerie d'un saut n'ont pas de mesure absolue, mais dépendent uniquement de l'échelle à laquelle on se place.

74. Jusqu'à ces dernières années, le continu tenait le premier rang, tant en Mathématique qu'en Physique ; le discontinu était considéré comme un accident qu'on pouvait toujours réduire par des « couches de passage » : *Natura non facit saltus,* disait-on.

Or, depuis quelque temps, il se produit dans nos idées sur le

continu et le discontinu deux évolutions concomitantes, mathématique et physique.

On résume d'un mot l'évolution de la Mathématique en disant qu'on tend de plus en plus à « *arithmétiser* » cette science. Suivant une remarque de Poincaré, nous ne pouvons comprendre que le *fini*. De là notre tendance à remplacer les ensembles ayant la puissance du continu par des ensembles dénombrables ([1]).

Ici même, nous n'avons fait appel qu'à des ensembles dénombrables de points, ce qui nous a permis de résoudre très simplement certaines questions embarrassantes. Nous conserverons ce point de vue dans la suite.

Si, maintenant, nous jetons un coup d'œil sur la Physique moderne, nous y apercevrons une évolution toute semblable. Est-ce encore un effet de notre esprit qui ne peut concevoir que le fini? Toujours est-il que le discontinu a pris en physique une extension inattendue et a gagné la plupart des domaines. On peut prévoir qu'il les gagnera tous.

Pour étudier les propriétés de la matière, nous décomposons un morceau de celle-ci en un nombre immense, mais fini, de particules très petites identiques. Remarquons avec M. J.-H. Boex-Borel (*l. c.*, p. 112) que ce processus comporte en soi un double passage à la limite : d'une part nous différencions les particules de façon à accorder à chacune d'elles une *individualité* propre, *indépendante* de toutes les autres parti-

[1]) « Beaucoup d'analystes mettent au premier rang la notion du continu; c'est elle qui intervient, d'une manière plus ou moins explicite, dans leurs raisonnements. J'ai indiqué récemment en quoi cette notion du continu, considéré comme ayant une puissance supérieure à celle du dénombrable, me paraît être une notion purement négative, la puissance des ensembles dénombrables étant la seule qui nous soit connue d'une façon positive, la seule qui intervienne *effectivement* dans nos raisonnements. Il est clair, en effet, que l'ensemble des éléments analytiques susceptibles d'être réellement définis et considérés, ne peut être qu'un ensemble dénombrable; je crois que ce point de vue s'imposera chaque jour davantage aux mathématiciens et que le continu n'aura été qu'un instrument transitoire, dont l'utilité actuelle n'est pas négligeable, mais qui devra être regardé seulement comme un moyen d'étudier les ensembles dénombrables, lesquels constituent la seule réalité que nous puissions atteindre. » E. Borel, *R. C. del Circ. mat. di Palermo*, 1908.

cules, d'autre part nous exagérons les ressemblances et postulons l'*identité* des individualités de toutes les particules. Mais ce mode de procéder nous permet d'atteindre le but suivant : l'état d'un morceau de matière ne dépend plus que d'un nombre *fini* de quantités : les paramètres qui déterminent les positions et les vitesses des particules les unes par rapport aux autres.

Telle est, en quelques mots, la genèse des théories moléculaires et électroniques, fondées sur le discontinu.

Or, simultanément, se développait la science de la propagation de l'énergie dans le vide, disons, plus commodément, dans l'éther. Toutes les théories des phénomènes de cette catégorie sont basées sur une hypothèse qui revient à celle-ci : l'éther est un milieu parfaitement *continu*. Tant qu'on reste dans l'éther, il n'y a à cela aucun inconvénient ; mais sitôt que l'on veut comprendre les échanges entre la matière et ce milieu, les difficultés se dressent, insurmontables sans nouvelles hypothèses. En effet, l'éther étant continu, un volume fini de ce fluide nous apparaîtra comme formé d'une infinité de particules infiniment petites ; il faudra dès lors une infinité de paramètres pour définir l'état de l'éther dans ce volume. Si donc nous voulons étudier les échanges d'énergie entre la matière et ce fluide, nous sommes conduits à des relations où il y a, d'une part, un nombre fini, d'autre part un nombre infini de paramètres. Tout équilibre est impossible.

Ces considérations sont générales. Le conflit est inévitable. Il faut donc d'une façon ou d'une autre introduire de nouvelles discontinuités.

75. C'est ce qu'a fait M. Planck en proposant l'hypothèse des *quanta d'énergie*.

Dans sa théorie des quanta, M. Planck n'attribue pas à l'éther une structure discontinue, analogue à celle des fluides que nous nommons gaz ou liquides parfaits, et auxquels, cependant, les équations aux dérivées partielles des ondes dans les milieux continus, s'appliquent avec une grande exactitude. M. Planck suppose toujours que l'éther est un milieu continu et transmet l'énergie d'une façon continue conformément aux équations de Maxwell. Où M. Planck introduit le discontinu, c'est dans le processus des échanges d'énergie : l'éther ne peut

recevoir l'énergie de la matière ou bien la matière de l'éther que par quanta égaux.

Par quel mécanisme un tel échange est-il possible ? Personne encore n'a pu répondre à cette question.

Peu importe du reste, et nous ne nous inquiéterons pas plus de cette question que de celle de savoir pourquoi l'énergie cinétique d'un point matériel quadruple lorsque sa vitesse double.

76. Examinons maintenant d'un peu plus près la façon dont le discontinu se présente dans les formules, suivant que l'on se place au point de vue du mathématicien ou à celui du physicien.

En Mathématique, on considère des fonctions de variables indépendantes, et on suppose toujours celles-ci varier d'une façon continue; ce sont les fonctions qui présentent les discontinuités.

En Physique, la question se pose, en général, tout autrement. Les fonctions que l'on y emploie sont très simples pour la plupart, et satisfont aux conditions de continuité. C'est la variable indépendante même qui ne varie pas d'une façon continue. Selon les applications, c'est-à-dire l'échelle où l'on se place, on pourra alors envisager avec une plus ou moins grande approximation la fonction comme continue, ou bien il sera nécessaire de tenir compte des discontinuités.

Considérons, par exemple, la masse M d'un corps. Dans la théorie moléculaire, elle est égale au nombre N de molécules du corps, multiplié par la masse invariable m de chacune d'elles :

$$M = mN .$$

Or, la variable indépendante N ne varie pas d'une façon continue; la masse ne peut gagner ou perdre qu'un nombre entier de molécules, et cependant, on emploie couramment la différentielle dM; on traite M comme une fonction continue. Il est aisé de justifier cette façon de procéder. Désignons par δN un accroissement de N comprenant quelques unités. Il pourra se produire deux cas. Ou bien, dans les applications, en Thermodynamique par exemple, M est très grand par rapport à m et on peut poser

$$dM = m\,\delta N ,$$

ou bien M sera relativement petit et une telle égalité conduirait à de grossières erreurs.

Ainsi, c'est grâce à la petitesse du multiplicateur m par rapport à M, que l'on peut considérer M comme une variable continue.

C'est pour une raison analogue que nous avons pu envisager les probabilités $\mathfrak{p}$ comme des fonctions continues.

77. Nous sommes en mesure maintenant de bien montrer tout ce qu'il y a d'étrange dans la théorie des quanta.

Considérons la fonction

$$y = f(x) ,$$

satisfaisant aux conditions de continuité. On peut toujours faire un changement de variable et introduire un quantum élémentaire ε, en posant

$$x = \varepsilon\xi$$

où ξ ne prendrait, par hypothèse, que des valeurs entières ; il suffit de choisir ε suffisamment petit pour ne pas être contredit par l'expérience.

Or, appliquons ceci à un point matériel de masse m et à 3 degrés de liberté. Nous pouvons bien supposer que son énergie cinétique $\frac{1}{2} m v^2$ croît ou décroît par quanta très petits ε. Mais décomposons la vitesse suivant 3 axes rectangulaires ; on obtient pour la force vive $\varepsilon\,(\xi^2 + \eta^2 + \zeta^2)$, où ξ, η, ζ, désignant trois entiers. Faisons tourner les axes autour de l'origine d'un angle quelconque ; on a alors une nouvelle expression $\varepsilon\,(\xi'^2 + \eta'^2 + \zeta'^2)$ qui devrait être égale à la première, ce qui est impossible si ξ', η', ζ' sont entiers.

La difficulté est toute semblable dans la théorie du rayonnement. C'est pourquoi les résonnateurs de Planck n'ont qu'un degré de liberté.

On voit à quelles difficultés nous conduit l'introduction de discontinuités sous forme de quanta d'*énergie*. Elle nous met en conflit avec nos notions les plus primitives, avec ce *continu à 3 dimensions* qu'est notre espace géométrique : la notion même de *degré de liberté* n'a plus de sens (cf la note du n° 68).

Remarquons que ce qui importe ce ne sont pas les coordonnées des corps, ce sont leurs distances mutuelles ; nous serions donc dans l'obligation de renoncer aux coordonnées, ces « variables parasites », comme les appelle Poincaré, et à la notion corrélative de « degré de liberté ».

Faisons observer que l'étonnement que suscite d'ordinaire la théorie de Planck ne provient pas de la remarque précédente ; il provient simplement du fait que le quantum élémentaire de Planck se trouve être si grand que les phénomènes de rayonnement observés *à notre échelle* ne peuvent se calculer à l'aide de fonctions à variables continues [1]. C'est seulement, comme nous le verrons, aux températures extrêmement élevées que ε devient très petit par rapport à $\varepsilon\xi$, et que l'on peut recourir au continu.

78. Parmi les fonctions dont nous aurons besoin, il en est deux particulièrement importantes que nous allons introduire tout de suite. Ce sont les expressions analytiques de l'énergie rayonnante et de l'énergie mécanique.

1° En partant de l'hypothèse de M. Planck, on définit l'énergie E_ν d'un *système rayonnant de fréquence* ν, par une fonction d'un nombre énorme, r, de paramètres $x_1, \ldots, x_r$, qui ne peuvent prendre que des valeurs entières positives, c'est-à-dire comprises entre 0 et $+\infty$.

On peut résumer les différentes théories par la formule

$$E_\nu = \varepsilon_0 \left\{ x_1 + x_2 + \ldots + x_r \right\} + E_0,$$

où ε_0, le *quantum élémentaire rayonnant,* dépend de la fréquence ν, et où E_0 dépend de la fréquence ν et de r. Nous donnons à ε_0 les dimensions d'une énergie, de sorte que les x sont de dimension nulle.

Si tous les paramètres sont nuls, le système possède, malgré cela, une certaine énergie E_0. Lorsqu'un paramètre x double, triple, ..., le nombre de ses quanta double, triple, ..., également.

2° La configuration d'un *système mécanique à* n *degrés de liberté* est donnée, à l'instant t, par les valeurs que prennent,

[1]) Un quantum du spectre visible ($\lambda = 0{,}5\,\mu$) est près de 100 fois plus grand que l'énergie moyenne d'une molécule gazeuse à 0°.

à cet instant, les n coordonnées généralisées $q_1, \ldots, q_n$. Nous supposerons que les forces dérivent d'une fonction $U(q_1, \ldots, q_n; a_1, a_2, \ldots)$ des coordonnées généralisées et de certaines quantités $a_1, a_2, \ldots$ que nous appellerons les « coordonnées extérieures » et dont nous donnerons la signification plus tard. La force-vive sera une fonction quadratique et homogène des dérivées $\dot{q}$ des q par rapport au temps; elle dépend des q mais non des coordonnées extérieures.

On peut toujours faire un changement de variables de façon que cette fonction quadratique se présente sous la forme d'une somme de carrés. Soient $u_1, \ldots, u_n$ ces variables; on aura alors pour la force-vive

$$T = \frac{1}{2}(u_1^2 + u_2^2 + \ldots + u_n^2) .$$

Les paramètres u sont des variables continues qui peuvent prendre une valeur quelconque entre $-\infty$ et $+\infty$.

Nous avons ici $r = 2n$, et le domaine $\mathfrak{D}_r$ se décompose en deux autres $\mathfrak{D}_q$ et $\mathfrak{D}_u$, l'un relatif aux variables q, l'autre aux variables u. Tous deux sont des multiplicités à n dimensions.

L'énergie totale du système sera donc :

$$E = T + U .$$

Remarquons que l'on pourrait expliciter une quantité ε_0' qui représenterait l'unité d'énergie cinétique; on poserait

$$u = \sqrt{2\varepsilon_0'}\, x ,$$

de sorte que nous aurions pour la force vive :

$$T = \varepsilon_0'(x_1^2 + x_2^2 + \ldots + x_n^2) .$$

mais où les x, pour les raisons indiquées au n° 77, doivent varier nécessairement d'une façon continue. Lorsqu'un paramètre x double, triple, ..., le nombre de ses unités cinétiques devient 4, 9, ... fois plus grand.

(A suivre).

NOUVELLES OBSERVATIONS

SUR

LA NATURE DE LA LUMIÈRE ZODIACALE

PAR

F. SCHMID

(Suite [1])

De tout temps, on s'est efforcé de connaître la position exacte du plan de la lumière zodiacale pour mieux saisir l'origine de cette lueur mystérieuse. Les résultats obtenus jusqu'ici sont souvent contradictoires et n'ont pas de caractères définitifs. Ils semblaient cependant indiquer que la lumière zodiacale est située dans le plan de l'équateur solaire, plutôt que dans celui de l'écliptique et continuaient à maintenir l'ancienne idée erronée de chercher la cause de ce phénomène dans le soleil.

Nous avons admis précédemment que, pour des raisons de nature optique, l'Axe est dirigé vers le soleil. Pour chercher la position de l'équateur atmosphérique, je ne me suis donc pas servi de la base de l'Axe, mais des sommets de 40 lumières zodiacales observées autant que possible en toutes saisons; je les ai portées sur une carte stellaire et obtenu ainsi une courbe. J'ai tenu compte de l'absorption atmosphérique en admettant un déplacement géocentrique de 10° seulement. Le résultat de ces recherches est d'abord que le plan de la lumière zodiacale ne coïncide, ni avec l'écliptique, ni avec l'équateur,

[1]) Voir *Archives*, t. XXXIX, p. 149.

qu'il est cependant plus près de ce dernier et qu'il coupe ces deux plans en plusieurs endroits. Cela prouverait que la lentille atmosphérique, surtout dans la partie extérieure, n'est pas un ellipsoïde de révolution régulier, mais qu'il s'y produit souvent des déformations. Ce résultat n'est cependant pas définitif, car les observations dont il est déduit, ont été faites au même endroit. Pour obtenir le résultat le plus sûr, il faut faire les observations sur le pourtour de la terre, dans la zone dans laquelle la lumière zodiacale apparaît sous la forme d'une pyramide verticale. Là, l'effet de l'absorption atmosphérique sera le même des deux côtés de la pyramide, et il y aura le maximum de garantie que les sommets sont vraiment observés dans le plan de l'équateur atmosphérique.

Remarquons encore, que, en Suisse, la déviation des sommets vers le nord est plus forte à l'est qu'à l'ouest (fig. 5). Le Pont, lui aussi, dévie davantage de l'écliptique vers l'est. Nous arrivons donc à penser que l'attraction des continents de l'Eur-Asie est plus grande et qu'elle attire l'équateur de la lentille atmosphérique vers le nord. Les autres continents semblent produire un résultat analogue, et cela confirmerait provisoirement l'idée que la pesanteur doit être plus forte sur les continents que sur les mers.

En général, la lumière zodiacale orientale a une plus grande étendue, mais un moindre éclat, que la lumière occidentale. Cela prouverait que les masses réfléchissantes de l'atmosphère sont plus près de l'observateur à l'est qu'à l'ouest, à cause du plus fort déplacement de l'atmosphère vers le nord. C'est pour cela que la lumière orientale nous paraît plus étendue, mais aussi plus faible que l'occidentale. Au reste, il pourrait bien exister des relations non encore éclaircies entre les lueurs crépusculaires et les lumières zodiacales du soir et du matin.

On sait que les lueurs pourprées de l'ouest peuvent produire un phénomène de reflet à l'est, que nous désignons par le terme de « Ostnachglühen ». D'après de nouvelles observations, la lumière zodiacale d'ouest produit un faible reflet semblable à l'opposé, à l'est ; et cela a surtout lieu quand les conditions atmosphériques sont déjà favorables pour un « Ostnachglühen » intense. Nous pouvons donc distinguer deux cas pour la formation du

Gegenschein : ou bien il est produit par la lumière réfléchie de la lune et il croît jusqu'au commencement du crépuscule lunaire, tandis que la lumière zodiacale diminue à l'ouest, ou bien le faible reflet oriental se trouve à l'opposé de la lumière zodiacale ouest, diminue avec elle et s'éteint quelques heures avant qu'apparaisse la lumière occidentale.

En examinant attentivement la couleur du ciel, j'ai souvent observé que le bleu du ciel nocturne est légèrement plus clair dans le voisinage de l'écliptique, même lorsqu'il n'y a ni lumière zodiacale, ni Gegenschein. Ce phénomène est sans doute identique avec le « Erdlicht ». Les recherches de W. J. Humphreys, de Newcomb, d'Ytema et d'Abbot [1] prouvent que le ciel de minuit contient toujours, déduction faite de la lumière des étoiles, un reste de lumière, de provenance inconnue. On a cherché à l'expliquer par une aurore boréale permanente, ou par un bombardement de l'atmosphère par des météores. Mais ces explications se heurtent au fait que l'intensité de cette lueur augmente avec la distance zénitale.

C'est là sans aucun doute un phénomène de reflet de l'atmosphère terrestre elle-même. Si nous pouvions observer le côté sombre de la terre d'un point de l'espace situé en dehors d'elle, nous la verrions entourée d'une magnifique couronne qui prendrait la forme d'une pyramide dans le voisinage de l'écliptique. Cette couronne correspond à l'atmosphère terrestre éclairée par le soleil, et forme sans aucun doute le « Erdlicht ». La fig. 7 donne une idée claire de ces conditions. Les couches atmosphériques illuminées, situées sous l'horizon, produisent ces légères lueurs crépusculaires, qui, pour cette raison, sont plus intenses à l'horizon. L'atmosphère étant plus haute vers l'écliptique, il en résulte aussi une lueur plus forte dans cette partie du ciel. Le « Erdlicht » ne serait donc autre chose qu'un phénomène indirect de l'éclairage solaire des couches situées au-dessous de l'horizon.

Ces dernières années je m'étais imposé la tâche d'étudier l'action d'ensemble de la lumière zodiacale et des lueurs crépusculaires. La moisson a été bonne, grâce à des périodes

[1]) *Sirius*, Augustheft 1913, p. 180.

d'observation exceptionnellement favorables. Il s'agit de savoir comment la lumière zodiacale se développe dans le courant de l'année et comment, dans une même nuit, la lumière zodiacale et les lueurs crépusculaires empiètent l'une sur l'autre.

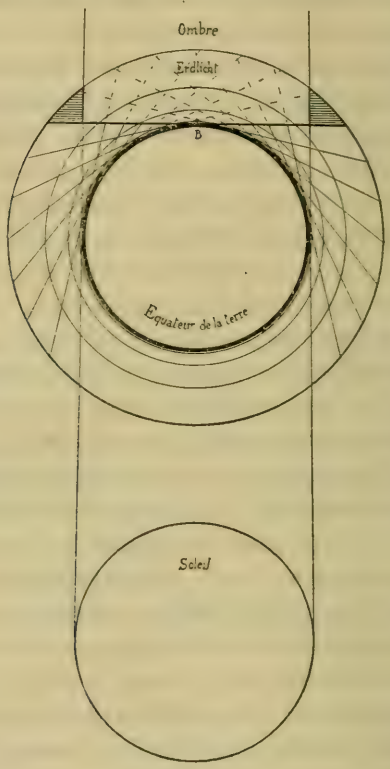


Fig. 7.

Le « Erdlicht » au ciel de minuit.

Comme nous l'avons indiqué déjà plus haut, la lumière zodiacale du soir commence au mois d'octobre. A la fin de septembre et au commencement d'octobre, l'arc crépusculaire septentrional persiste encore faiblement et il est visible encore quelques heures dans la nuit. Ainsi le 24 et le 26 septembre 1913, à 9 heures du soir, les lueurs crépusculaires couvraient tout l'horizon au nord-ouest, du nord jusqu'à 20° au sud du point ouest,

et atteignaient une hauteur maximum d'environ 24°. Le 3 octobre elles étaient faibles, mais visibles sous forme d'un arc déprimé d'une hauteur maximum de 22°, s'étendant jusqu'à 29° au sud du point ouest.

Ces observations prouvent donc que le crépuscule astronomique, qui suppose le soleil à 29°,5 au-dessous de l'horizon, est faux. La hauteur des couches atmosphériques réfléchissant encore la lumière directe du soleil est ici de 450 km.

J'ai fait ma première observation incontestable sur la naissance de la lumière zodiacale occidentale les 24 et 25 octobre 1913. Ces deux soirs-là, de 8 à 10 h., il y avait une ceinture crépusculaire du nord au sud, sans discontinuité, qui montait lentement, et dont la plus grande intensité lumineuse se trouvait au sud-ouest, des deux côtés de la voie lactée, au-dessous d'Altaïr (α Aquilae), pour se recourber brusquement vers l'horizon au sud. Durant ces deux soirées, le Gegenschein devenait ultérieurement visible à l'est, précurseur de l'apparition de la lune. A 10 h. la faible bordure disparaissait au nord-ouest, et au sud-ouest un arc crépusculaire irrégulier persistait, dont la branche la plus courte était au sud, et la masse principale se trouvait dans le Capricorne.

A partir de ce moment, la lumière zodiacale occidentale s'est développée progressivement pour atteindre son éclat normal imposant au mois de janvier. Au mois de mars, il n'y a plus qu'une faible pyramide qui reprend assez subitement, et sans cause appréciable, une plus grande intensité au mois d'avril[1]. C'est l'arc d'avril, qui enveloppe comme d'un manteau la lumière zodiacale évanouissante de l'hiver, et prend lui-même la forme de la lumière zodiacale.

Plus tard, dans la seconde moitié de mai, cet arc crépusculaire se transforme de plus en plus dans l'arc isoscèle de l'arc crépusculaire du nord (« Norddämmerungsbogen ») de l'été, qu'il faut considérer comme une effluve des clartés nocturnes des latitudes boréales élevées.

[1]) Voir : F. Schmid, Das Zodiakallicht im Monat April. — *Astron. Nachr.* N° 4609. Vol. 193, octobre 1912.

A la fin de juillet, nous pouvons déjà apercevoir, de bon matin, dans des conditions favorables, la déformation de l'arc crépusculaire du nord-ouest; et, au commencement d'août, les lueurs typiques de la lumière zodiacale orientale commencent à se développer. Elle s'étend encore loin du côté du nord et atteint l'horizon au-dessous de la Grande Ourse avec le maximum d'éclat exactement au nord-est; la branche méridionale passe sur les Pléiades et descend rapidement vers l'horizon à l'orient. Au mois de novembre, la lumière zodiacale est devenue la grande pyramide orientale dont les derniers vestiges disparaissent définitivement en mars au nord-ouest.

Après ce court aperçu, il faut revenir encore une fois sur l'énigmatique arc d'avril. D'après les observations poursuivies durant plusieurs années, l'arc d'avril est un phénomène qui revient régulièrement. La branche méridionale est d'abord presque verticale et s'étend de la constellation d'Orion jusqu'aux Gémeaux; elle se recourbe ensuite rapidement pour former la branche boréale. Cette dernière recouvre les constellations du Cocher et de Persée d'une faible lueur crépusculaire et coupe l'horizon en dessous de Cassiopée. La largeur de sa base varie de 100° à 120°. Sa hauteur, atteint d'après mes mesures, environ 43°, le soleil étant de 41° $^1/_2$ au-dessous de l'horizon. Il en résulte que la distance aux couches atmosphériques qui réfléchissent la lumière directe du soleil est d'au moins 1300 km., inférieure encore à la sphère de la lumière zodiacale, car l'atmosphère, agissant activement comme réflecteur, atteint chez nous au moins le double de cette hauteur.

Nous devons maintenant faire ressortir que ce manteau crépusculaire n'est pas visible pendant l'hiver, mais se développe rapidement à la fin de mars et au commencement d'avril. Il est sans doute probable que nous avons affaire là à un phénomène de reflet de la lentille atmosphérique fortement éclairée sous l'horizon, lequel serait identique à l'« Erdlicht ». Nous apercevons encore le noyau affaibli de la lumière zodiacale à travers cette zone crépusculaire diffuse.

Le fait que cet arc d'avril se transforme graduellement dans le « Norddämmerungsbogen » régulier et arrondi de l'été, et que cette transformation s'opère dans une même

nuit de la seconde moitié de mai, confirme aussi cette manière de voir.

Il nous faut encore faire remarquer la ressemblance de cet arc crépusculaire avec la forme de la lumière zodiacale et sa transformation graduelle en arc crépusculaire de l'été. Nous avons donc une preuve — en tant que ce manteau est réellement visible dans les couches atmosphériques basses — qu'il existe une séparation bien marquée dans les couches basses de la sphère du géocoronium qui enveloppe la lentille atmosphérique aplatie. Le phénomène du mois d'avril fournit donc une indication importante sur la configuration de notre enveloppe atmosphérique extérieure, qui se sépare en deux couches bien marquées au-dessus de la sphère d'hydrogène.

En envisageant la lumière zodiacale comme un phénomène tellurique et optique de notre lentille atmosphérique, je ne pouvais omettre de vouer une attention spéciale au passage graduel des lueurs crépusculaires à la lumière zodiacale, et inversement. Mais il est très difficile de se faire une idée juste de ces phénomènes de transformation, et plusieurs années se sont écoulées avant que j'aie pu reconnaître leurs états successifs si délicats.

La première transformation de la lumière crépusculaire en lumière zodiacale commence plus tôt qu'on ne l'admet généralement. Une demi-heure, souvent moins longtemps encore, avant la fin du crépuscule, le cône d'ombre de la terre devient visible, dans certains cas, au sud-ouest. C'est une partie du cône d'ombre qui se projette dans l'air éclairé comme une limite d'ombre dans le ciel au sud. Elle forme, avec l'horizon, au sud-ouest, un angle ouvert vers le sud. Dans cette zone d'ombre, la couleur bleu sombre du ciel est mieux marquée. Mais, néanmoins, il y a encore dans ces régions des lueurs qui proviennent des couches inférieures de l'atmosphère qui recouvrent plus ou moins l'ombre de la terre. Cette limite d'ombre est identique avec la branche méridionale de la lumière zodiacale; elle est moins sensible plus tard, quand le soleil est à 12° ou 16° au-dessous de l'horizon, puis disparaît enfin tout à fait par suite de l'absence probable de contraste entre le bleu du ciel et l'ombre. Ces lueurs s'abaissent de plus

en plus sur l'horizon ; elles s'aplatissent et prennent à la fin une couleur jaune-rougeâtre ou rouge. Insensiblement, la couleur du ciel devient plus claire à l'endroit où apparaîtra plus tard la lumière zodiacale, mais la pyramide n'est pas encore perceptible. Lorsque le soleil est à 16° ou 18° au-dessous de l'horizon, cette lueur se concentre petit à petit à l'endroit où se trouvera le maximum de la lumière zodiacale. Peu à peu l'Axe devient visible à 20° au-dessus de l'horizon, mais tend à se fondre sur l'horizon avec une large bordure crépusculaire qui se rétrécit graduellement. L'Axe s'accuse de plus en plus, et finit par être visible aussi dans la partie supérieure du ciel nocture. Pendant ce temps, la branche méridionale de la pyramide est aussi devenue visible et, quelques minutes après, la branche boréale aussi. La lumière zodiacale brille alors dans toute sa douce et tranquille magnificence devant l'observateur silencieux.

Le passage de la lumière zodiacale orientale aux lueurs crépusculaires du matin est encore plus intéressant. Et j'ai pu réussir à reconnaître des détails plus nets, à la suite d'une longue série d'observations.

Le premier indice de l'apparition du crépuscule, le matin, en décembre et en janvier, est l'élargissement, puis la disparition de la partie inférieure de l'Axe et un déplacement de 2° vers l'est de la région présentant l'intensité lumineuse maximum. Immédiatement après, le premier arc crépusculaire apparaît sur le côté oriental de la base de l'Axe ; il augmente rapidement et s'approche du soleil avec lequel il se déplace ensuite vers le sud. Pendant la première apparition de l'arc crépusculaire, la lumière zodiacale reste encore visible dans ses parties les plus élevées, puis ces dernières disparaissent bientôt, lorsque l'arc a atteint la moitié de la hauteur de la lumière zodiacale du côté du nord.

Au mois de février, le déplacement et l'élargissement de l'Axe deviennent indéterminés, à cause de l'affaiblissement de la pyramide qui traverse la voie lactée ; aucun déplacement ne peut plus être constaté alors, mais on peut observer que la première trace du crépuscule se lève à l'est du pied de l'Axe et que l'arc crépusculaire naissant se déplace à l'est dans la

La lumière zodiacale au commencement du crépuscule.
Le premier développement du crépuscule du matin d'après les observations de fin janvier et commencement de février 1914.

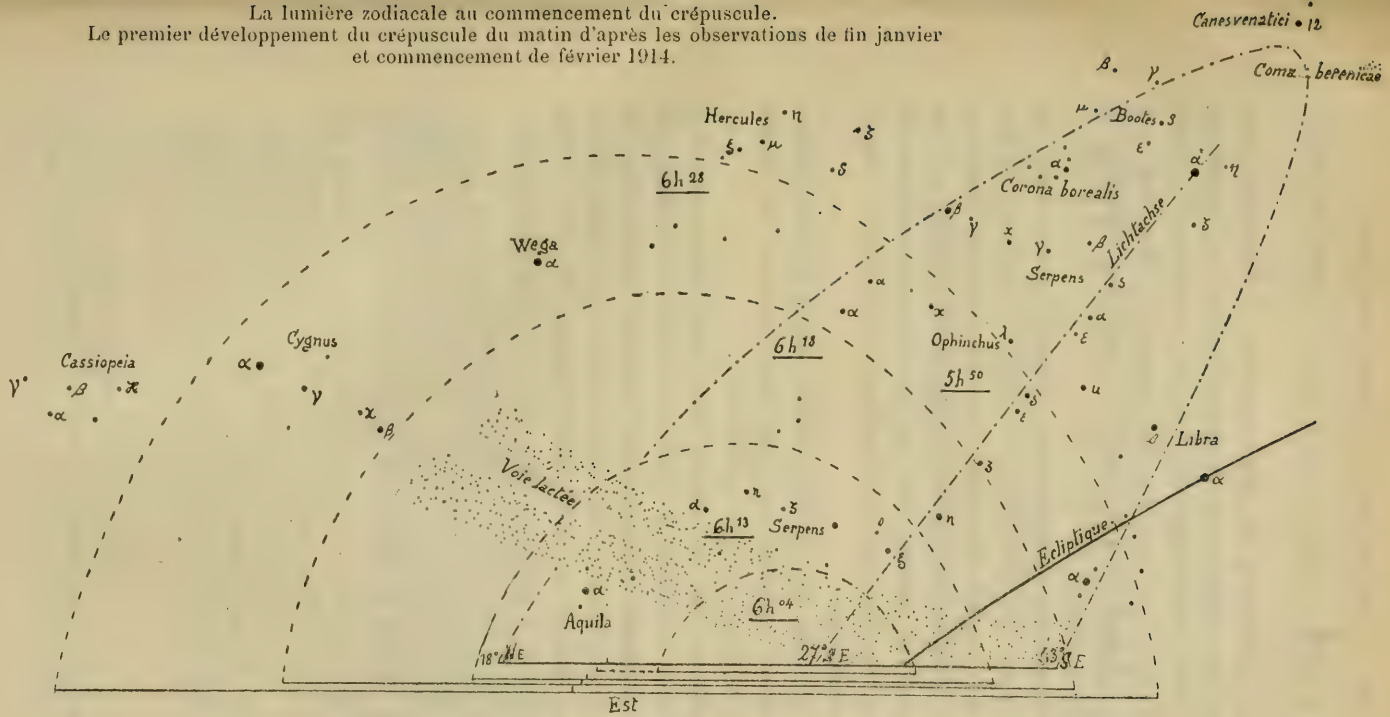


Fig. 8.

2 février 1914. 5 h. 50 m. — 6 h. 32 m. du matin ; air 1. — 5 h. 50 m. Lumière zodiacale avant le crépuscule. — 6 h. 04 m. Commencement du crépuscule du côté est de la « Lichtachse » 23° S.E. — 6 h. 13 m. Maximum du crépuscule vers 16° S.E. ; la base de la pyramide de la lumière zodiacale s'éteint. — 6 h. 18 m. Maximum du crépuscule environ 6° S.E. ; la partie supérieure de la pyramide disparaît. — 6 h. 28 m. Maximum du crépuscule à l'est ; le mouvement vers l'est du crépuscule s'arrête. Le maximum du crépuscule se place verticalement au-dessus du soleil et se déplace avec lui vers le sud. — 6 h. 32 m. Crépuscule au zénith. La « Gegendämmerung » commence à l'ouest. Quelquefois, avant le commencement du crépuscule général et dans la direction de la lumière zodiacale sud, le cône d'ombre est encore visible pour peu de temps, mais plus faiblement qu'à l'ouest.

direction du soleil. La fig. 8 représente clairement ces phénomènes.

A la fin de janvier et au commencement de février de cette année, j'ai pu observer les premières traces du crépuscule lorsque le soleil était encore à 18° ou 19° au-dessous de l'horizon. La hauteur de l'arc naissant atteint 200 km, soit à la limite de la sphère de l'hydrogène ou au commencement de celle du géocoronium.

Le développement du crépuscule, le matin, prouve que l'atmosphère terrestre n'est pas une sphère régulière, et que l'aplatissement se fait déjà sentir dans les couches inférieures. C'est pour cette raison que les rayons solaires n'atteignent pas tout d'abord les couches d'air qui sont placées au-dessus du soleil, mais bien les couches ascendantes dirigées vers l'équateur atmosphérique.

Ce déplacement et l'agrandissement rapide de l'arc crépusculaire naissant indiquent aussi que l'aplatissement des couches inférieures ne peut pas être considérable.

Nous pouvons déjà maintenant faire remarquer que les arcs crépusculaires subissent, à d'autres moments de l'année, des déplacements dans la direction de l'écliptique et que, sous nos latitudes, l'arc isoscèle subit des déformations, chaque fois que l'écliptique coïncide avec la zone principale de l'arc. Ce fait paraît singulier à première vue, mais il ne fait que confirmer le fait de l'aplatissement de notre atmosphère.

Il résulte donc de ce qui précède que la lumière zodiacale est un phénomène purement optique et atmosphérique et qu'il n'est plus permis de douter de la forme lenticulaire de notre atmosphère.

LES

CÉVENNES MÉRIDIONALES

(MASSIF DE L'AIGOUAL)

ÉTUDE PHYTOGÉOGRAPHIQUE

PAR

Josias BRAUN

(Suite[1])

III. Les groupements végétaux.

L'association.

Avant d'étudier les groupements végétaux, il faut nécessairement les délimiter et en fixer la notion. La connaissance des associations végétales, unités fondamentales comparables aux espèces de la systématique s'impose comme un premier but de la synécologie. Sans insister de nouveau sur ce que nous avons dit ailleurs à ce sujet (cf. Braun l. c. 1913, Braun et Furrer l. c. 1913) ([2]), constatons simplement qu'il existe quatre méthodes principales pour parvenir à ce résultat.

La première méthode, prend comme base la *physionomie uniforme* de la végétation. Chaque groupement doit présenter une physionomie spéciale, déterminée.

[1]) Voir *Archives*, 1915, t. XXXIX, p. 167.

[2]) Voir aussi Furrer, E., *Vegetationsstudien im Bormiesischen*, Thèse, Zurich, 1914.

Ce mode de classement est trop vague pour être employé avec fruit dans une étude approfondie.

La seconde méthode, écologique, se base sur les *adaptations biologiques des végétaux* (adaptations par rapport à la saison défavorable [système Raunkiaer], etc.). Un système écologique-physionomique a été proposé par MM. Brockmann-Jerosch et Rübel (l. c. 1912).

La troisième méthode, *topographique,* part de la *station uniforme* comme devant comporter nécessairement une végétation homogène. Malgré la justesse incontestable de ce point de vue, la classification des associations ayant pour base la station risque de devenir arbitraire parce qu'il nous est le plus souvent impossible de définir assez nettement l'unité stationnelle. Abstraction faite des difficultés s'opposant à la connaissance parfaite des facteurs édaphiques, le climat local restera trop souvent une énigme que nos moyens d'investigation n'arriveront pas à résoudre entièrement, du moins dans un pays accidenté comme celui dont il s'agit.

Une dernière méthode, dégagée de toute conception hypothétique, se fonde *uniquement sur la composition floristique* de la végétation. Elle délimite les associations par leurs constituants eux-mêmes. C'est cette *méthode floristique*, développée dans nos travaux antérieurs, que nous appliquerons ici.

« L'association doit être caractérisée par l'ensemble, par la totalité même de ses éléments floristiques ». Tout le monde est d'accord aujourd'hui sur ce point, fortement souligné par MM. Flahault et Schröter dans leurs propositions de 1910 (l. c. p. 8). Mais il devient urgent de tenter un triage de ces éléments, de les grouper suivant leur importance synécologique. Cette importance nous guidera dans l'inventaire de chaque association; elle devrait ressortir de toutes les listes floristiques se rapportant à la synécologie.

Une question nouvelle se pose à ce sujet, celle de la subordination des caractères en synécologie.

Il était devenu presque traditionnel d'attribuer une valeur prépondérante aux végétaux qui dominent dans une association, soit par leur taille (essences forestières), soit par leur abondance numérique. Pour caractériser une association, on se lais-

sait volontiers guider par les *espèces dominantes*; c'était assurément commode. Mais les dominantes sont souvent des ubiquistes (*Nardus stricta, Calluna vulgaris, Taraxacum officinale,* etc.) ou bien elles se rencontrent abondamment dans plusieurs associations (*Sesleria caerulea, Bromus erectus, Larix europaea, Phragmites communis, Pteris aquilina,* etc.). Elles perdent dès lors leur valeur spécifique et élective.

En 1907, M. Brockmann-Jerosch introduisit la notion des *constantes*; ce sont des végétaux qui se retrouvent communément (au moins dans la moitié des cas) dans une association. Ce terme représente donc un premier élément stable, propre à l'association. Il sert à la caractériser mieux que les dominantes et fournit par conséquent un caractère préférable de valeur synécologique. Aussi la subordination des anciennes dominantes aux constantes n'a guère été contestée. Tout récemment elle a été mise en lumière encore par M. Drude (l. c. 1913). Ajoutons encore qu'une dominante peut également être constante, elle acquiert alors une signification spéciale comme constante-dominante (*Festuca varia, Quercus Ilex,* la plupart des essences forestières sociales, etc.).

Au-dessus des constantes, nous plaçons les *caractéristiques,* généralement particulières à une association donnée. Les caractéristiques peuvent être considérées comme l'expression la plus précise de l'écologie d'un groupement. Qu'on nous signale le *Potentilla caulescens* dans n'importe quelle localité des Cévennes; aussitôt se présentent à notre pensée des falaises de calcaire compact, peuplées d'une végétation xérophile, de Chaméphytes et d'Hémicryptophytes. Nous voyons apparaître *Asplenium Ruta-muraria* et *Trichomanes, Ceterach,* divers *Sedum, Kernera saxatilis, Erinus alpinus, Athamanta cretensis, Aethionema saxatile, Saxifraga cebennensis, Centranthus Lecoquii, Alsine mucronata,* etc., etc. Une visite sur le terrain confirmera nos présomptions; une bonne partie de ces espèces s'y rencontreront toujours. Beaucoup d'autres végétaux sont des indicateurs pareils; nous les désignons comme *caractéristiques de premier ordre.*

Une statistique soigneusement établie nous révèle les constantes; elle ne nous sert en rien pour déceler les caractéris-

tiques. L'observation seule, aidée par l'expérience, nous les fait connaître.

Si les constantes apparaissent comme un premier élément spécial à l'association et de valeur différentielle, les caractéristiques ont un rôle encore plus électif et plus spécifique à cet égard. Nous aurons l'occasion d'y revenir souvent.

La portée philosophique des caractéristiques au point de vue de la conception évolutionniste nous semble indéniable. Elles expriment mieux que les constantes et les dominantes les affinités génétiques des groupements végétaux; leur présence au complet marque le stade d'équilibre plus ou moins durable entre une association et le milieu où elle vit, stade atteint par le groupement évolué, bien défini.

Ces raisons nous ont conduit à leur attribuer la place la plus élevée dans la hiérarchie des éléments de l'association.

Il va sans dire qu'une caractéristique peut être également constante et dominante; tel est le cas pour le *Thlaspi rotundifolium* des éboulis et débris de rochers calcaires, pour le *Montia fontana* de nos sources, pour *Alchemilla pentaphylla* des combes à neige, etc.

A la suite des caractéristiques de premier ordre, nous distinguons comme de second ordre les espèces d'adaptation moins rigoureusement déterminée qui trouvent leur optimum biologique dans une association donnée, sans toutefois y être strictement localisées.

Plus la physiographie d'une association est individualisée, c'est-à-dire plus ses conditions stationnelles sont extrêmes, plus aussi le nombre de caractéristiques y est élevé (hêtraie, assoc. des rochers, des dunes de sable, etc.). La présence d'un grand nombre de caractéristiques indique toujours un groupement bien individualisé.

Les associations bien définies sont faciles à délimiter; il en est autrement pour les groupements jeunes, peu évolués, ou soumis à des conditions de milieu instables (pacages irrégulièrement exploités, alluvions récentes, plantations d'arbres, cultures variables, décombres, etc.). Souvent ces groupements mal définis sont dépourvus des caractères d'une association fixée; leur cortège floristique est d'une hétérogénéité déconcer-

tante d'une localité à l'autre. A défaut de caractéristiques de premier ordre, nous devons pour les synthétiser recourir aux caractéristiques de second ordre. Rarement elles manquent (associations très dégradées ou peuplements purement artificiels); c'est alors la liste floristique complète qui nous amène à fixer la place du peuplement en question dans l'enchaînement des associations.

A côté des associations indéfinies et en voie de fixation, les associations *mixtes* résultant de la pénétration réciproque de deux ou plusieurs associations types peuvent occuper une surface considérable.

De ce qui précède se dégage la définition suivante : *l'association définie est un groupement végétal plus ou moins stable et en équilibre avec le milieu ambiant, caractérisé par une composition floristique déterminée dans laquelle certains éléments exclusifs ou à peu près (espèces caractéristiques), révèlent par leur présence une écologie particulière et autonome* [1].

A l'intérieur d'une même association, nous distinguons des *races* [2] *régionales,* des *échelons altitudinaux* et des *sous-associations.* Ces dernières diffèrent des associations types autour desquelles elles rayonnent par l'absence de caractéristiques *spéciales.*

Une étude approfondie des associations ne peut plus se borner à l'inventaire floristique. Elle devra nécessairement tenir compte de *l'ensemble des phénomènes synécologiques* et envisager chaque association à tous les points de vue. La partie *descriptive* doit être suivie d'une partie *écologique* comportant l'énumération des formes biologiques (Lebensformen), du milieu biologique, etc. On traitera ensuite la synécologie *géographique* et enfin la synécologie *génétique*, qui doit faire comprendre l'origine et l'évolution du groupement.

Dans ce mémoire, nous nous sommes efforcés de nous confor-

[1]) Der Bestandestypus ist eine in sich abgeschlossene, mit den Aussenfaktoren im Gleichgewicht stehende Pflanzengesellschaft, von bestimmter floristischer Zusammensetzung, die durch Vorhandensein ihr eigener oder vorzugsweise eigener Arten (der Charakterpflanzen) œkologische Selbständigkeit verrät.

[2]) « Races » au sens que lui attribuent MM. Ascherson et Gräbner.

mer autant que possible à ce programme. Nous ne prétendons pas cependant avoir épuisé le sujet; notre travail est un essai dans ce genre d'investigation un peu nouveau.

Pour condenser brièvement les faits essentiels relatifs à chaque association, nous employons le tableau analytique. Le *degré de fréquence* des espèces y est exprimé par des chiffres de 1 à 10. Le chiffre 1 désigne une plante sporadique, 10 une espèce sociale. Pour les arbres, nous mettons 10 si les couronnes se touchent et s'entrecroisent.

Pour la *statistique des formes biologiques,* nous avons adopté la méthode de M. Raunkiaer. Tout en réalisant un énorme progrès, elle ne peut cependant pas être considérée comme une solution tout à fait satisfaisante et définitive de ce problème délicat.

Aux objections déjà faites à ce système, nous nous permettons d'ajouter ceci. Il est d'une importance capitale de savoir dans quel état de vie (actif ou latent) une plante passe la mauvaise saison et quelles sont les transformations qu'elle subit pendant ce temps. La meilleure protection des bourgeons devient illusoire si la plante entre en végétation au début ou pendant la saison défavorable, comme c'est le cas pour beaucoup de nos végétaux. Sous le même climat, cette saison peut d'ailleurs varier suivant les espèces. C'est l'été sec pour une foule de plantes monocarpiques printanières, c'est l'hiver pour les arbres et arbustes à feuilles persistantes. La classification des végétaux ligneux proposée par M. Raunkiaer repose sur l'idée que le nanisme constitue — toutes autres conditions égales — un avantage pour les plantes ayant à supporter des saisons rigoureuses. Il n'en est pas toujours ainsi. Les températures extrêmes sont bien plus accentuées au ras du sol qu'à une certaine hauteur. En janvier 1914, par exemple, la moyenne des minimas à Montpellier (jardin botanique) était de — 5°4 à 1^{m},50 et — 8° au ras du sol.

Voici l'explication du spectre biologique de M. Raunkiaer et les abréviations que nous avons employées.

P. = Phanérophytes, arbres et arbrisseaux.

Ch. = Chaméphytes, arbustes au-dessous de 25 cm. de hau-

teur et végétaux à bourgeons persistants situés à une certaine hauteur au-dessus du sol.

H. = Hémicryptophytes, plantes pérennantes, bourgeons persistants situés à fleur de terre.

G. = Géophytes, bourgeons persistants situés dans la terre.

T. = Thérophytes, espèces monocarpiques dont le développement s'accomplit en une seule saison favorable.

Par leurs affinités floristiques aussi bien que par leur écologie, tous les groupements végétaux sont reliés entre eux. Dans leur enchaînement réciproque, les associations et groupes d'associations apparaissent comme des chaînons ou tronçons plus ou moins bien individualisés. A une extrémité de la chaîne ramifiée, nous trouvons le plankton, à l'autre, les associations des rochers. Si nous réunissons les chaînons ou associations *dont l'affinité floristique traduit une écologie et un passé similaire,* nous formons une *unité supérieure* que nous appelons un *groupe d'associations*. Mais on comprend qu'il doit être souvent difficile de discerner et de délimiter exactement les groupes d'associations.

Pour établir le degré relatif d'affinité entre les associations différentes, nous proposons qu'on utilise encore les caractéristiques. On considère alors comme groupe d'associations celles qui possèdent entre elles une proportion notable de caractéristiques communes. Citons, par exemple, les associations des rochers et des murs, des dunes, des marais salants, des tourbières, des forêts de Conifères d'un territoire donné. Dans chacune de ces séries, les associations ont un cortège floristique assez semblable; bon nombre d'espèces sont communes à toutes les associations d'une même série et manquent ailleurs. Ce sont les caractéristiques respectives de chaque groupe d'associations.

L'écologie bien distincte des divers groupes d'associations se traduit le plus souvent encore par le spectre des formes biologiques; *les divergences floristiques sont alors soulignées par des différences écologiques*.

Le spectre biologique peut donner des indications relativement à l'attribution d'une association à tel ou tel groupe, lors-

que les affinités floristiques ne sont pas assez accentuées; les limites entre deux groupes d'associations correspondent alors à un changement visible au double point de vue de la floristique et des formes biologiques. Les noms provisoires donnés dans ce mémoire aux groupes d'associations, ont été établis en combinant des notions saillantes de station ou d'écologie avec le nom d'une espèce importante au point de vue synécologique.

Groupe d'associations et formation

Tandis que notre conception de l'unité synécologique, de l'association, correspond à peu près à celle des rapporteurs du Congrès international de botanique de Bruxelles, nous ne pouvons pas accepter leur interprétation du terme formation, tel qu'il a été défini en 1910.

« La formation végétale est l'expression actuelle de conditions de vie déterminées. » — M. Beck [1] remarque avec raison que c'est le cas aussi pour les associations. — « Elle *se compose d'associations qui dans leur composition floristique sont différentes,* mais qui correspondent à des conditions stationnelles semblables et revêtent des formes de végétation analogues » (Rapp. p. 26).

Ainsi comprise, la formation n'est qu'un ensemble d'associations de même port, ayant les mêmes exigences à l'égard de la station; elle repose sur une base purement *écologique.*

Dès lors, il est impossible de lui subordonner l'association, unité floristique de la synécologie, la base de la classification n'étant plus la même. Avec beaucoup de raison, semble-t-il, M. Pavillard (l. c. 1912) a insisté sur ce point : « Prétendre établir des « genres écologiques » dont les associations constitueraient les « espèces », c'est entreprendre une besogne illusoire, grosse d'inconséquences funestes et d'irrémédiables malentendus ».

En effet, nous n'avons pas le droit d'admettre une telle subordination, sans même en avoir discuté la valeur synthétique. Pourquoi, pourrait-on demander, l'écologie l'emporte-

[1]) Extr. Act. d. congrès, p. 161.

rait-elle sur la floristique, dans l'étude des groupements de plantes? Sans doute, les *efforts actuels* tendent avant tout à élucider les relations entre le tapis végétal et le milieu ambiant, mais au fond ce n'est là *qu'un côté du problème de la synécologie.* D'autres questions se posent, non moins importantes, questions d'*ordre géographique* et *génétique*, se rapportant à l'origine et à l'évolution des groupements. L'écologie est-elle en mesure de répondre à ces questions multiples? Non! *Le principe floristique seul* introduit dans le classement des considérations *géographiques* et *historiques* en même temps qu'écologiques. La portée philosophique de ce principe ne peut être niée; elle dépasse celle du principe écologique. Aussi est-il permis de les coordonner, mais pas de les subordonner comme le font la plupart des phytogéographes, à l'exemple des rapporteurs du Congrès de Bruxelles (1910).

La notion de formation reposant sur le principe écologique, dégagé de toutes considérations géographiques et historiques, est l'expression actuelle de conditions stationnelles déterminées. Théoriquement, *la même formation est possible partout sous des conditions de climat semblables,* elle n'est pas limitée géographiquement. *Au contraire, toute association possède son aire, elle a un ou plusieurs centres de répartition, des échappés, une zone de transition ou de pénétration.* Sa composition actuelle dépend autant du passé historique de la flore que du milieu ambiant. Les affinités floristiques prises comme base de classification feront ressortir à la fois la parenté écologique et génétique (œkologische und florengeschichtliche Verwandtschaft). L'application conséquente du principe pour les termes supérieurs de la hiérarchie synécologique jetterait sans doute beaucoup de lumière sur l'enchaînement naturel des groupements végétaux dans les différents domaines botaniques du globe. N'y songeons pas pour le moment; le travail préalable de triage systématique n'est pas assez avancé pour autoriser un pareil effort.

L'emploi de la méthode floristique dans l'étude des groupements végétaux exige en effet la connaissance parfaite de la flore d'un pays; elle ne pourrait donner de résultats satisfaisants dans une contrée dont la flore n'est pas encore assez connue. Ici la méthode écologique s'impose. Un explorateur ayant

des notions générales sur l'écologie des plantes, mais sans connaissances systématiques peut, en décrivant les formes de végétation, donner une idée juste du climat et une bonne idée des conditions de vie auxquelles certains groupements physionomiques sont soumis. *L'étude des « formations » est donc un auxiliaire précieux de l'étude des associations; mais il ne saurait cependant la remplacer.*

A. Groupe d'associations rupestres, type Potentilla caulescens.

De toutes les stations, les rochers abrupts échappent le plus complètement à l'influence de la culture. Le pâturage qui a transformé ou modifié la plupart de nos associations primitives en est exclu, et la végétation, abandonnée à elle-même, a pu se développer en dehors de toute action de l'homme. Aussi cette végétation, bien individualisée déjà grâce à la nature de la station, est-elle restée à peu près intacte, facile à caractériser.

On s'est pourtant peu préoccupé du classement rationnel des associations rupestres. Bien souvent encore les auteurs, confondant les notions de station et d'association, attribuent à l'association tous les éléments qu'ils ont rencontrés dans une station rupestre quelconque, sans même tenter une subordination suivant leur importance synécologique. Mais la liste floristique la plus complète nous apprend peu sur l'écologie spéciale de l'association ; elle ne saurait remplacer un petit aperçu tenant compte de la valeur synécologique de chacun des éléments constitutifs, c'est-à-dire de leur degré de fréquence, leur constance et surtout de leur localisation dans l'association.

Une foule de végétaux d'associations très diverses peuvent croître, soit dans les fentes (Chasmophytes), soit à la surface des rochers (Lithophytes); d'autre part un certain nombre d'espèces sont localisées exclusivement dans ces stations : les caractéristiques.

Les caractéristiques ou espèces rupestres proprement dites nous fournissent un bon moyen pour définir et circonscrire les associations rupestres.

Partout où elles apparaissent, se trouvent réalisées les conditions pour l'établissement de l'association et partout où nous les rencontrons réunies en certain nombre, l'association s'est établie. Si donc nous considérons comme association toute la végétation de la surface et des fissures d'un rocher en tant qu'il est peuplé par les caractéristiques et qu'il porte une flore homogène, nous embrassons une unité aussi bien écologique que floristique. Cette définition n'exclut pas les ubiquistes, mais elle supprime tout le cortège de végétaux praticoles et silvatiques qui généralement vient s'installer sur le rocher dès qu'une fente atteint une certaine largeur. Si une falaise à flore homogène est entrecoupée par des bandes de végétation, par des couloirs à éboulis, par des suintements d'eau, etc., leur flore constitue des groupements de plantes à part, n'ayant de commun avec l'association rupestre que la station topographique.

Ainsi conçues, les associations rupestres diffèrent l'une de l'autre surtout en raison de la nature physique et chimique du support qui a une influence prépondérante sur la composition de la végétation.

Pour la dénomination des associations rupestres, nous utiliserons la qualité de la roche en la combinant avec le nom de l'espèce la plus caractéristique.

De cette façon, nous distinguons dans le massif de l'Aigoual *deux associations rupestres principales :*

L'*association silicicole à Antirrhinum Asarina* et l'*association calcicole à Potentilla caulescens* et *Saxifraga cebennensis*.

Cette dénomination, empruntée aux caractéristiques, n'est qu'une façon de nous exprimer brièvement. Dans les cas fréquents où une association, même très évoluée et bien définie ne possède pas l'espèce caractéristique dont elle porte le nom, l'inventaire floristique complet est décisif.

Quelques mots seulement au sujet de la délimitation géographique des associations rupestres. Les rochers jurassiques ou crétacés des Alpes qui portent également la gracieuse *Potentilla caulescens* appartiennent-ils à notre association ? La réponse nous est donnée par le chiffre exprimant la communauté réciproque des espèces caractéristiques. Si leur coefficient de com-

munauté reste inférieur à une certaine proportion, si, par exemple, les deux associations rupestres n'ont pas en commun au moins un quart de leur caractéristiques, nous pouvons conclure qu'il s'agit de deux associations différentes, parallèles, se remplaçant l'une l'autre. Tel est le cas pour notre association à *Potentilla caulescens* et pour l'association à *Phyteuma comosum* des Préalpes calcaires à l'est du lac de Côme qui également possède les *Potentilla caulescens, Kernera saxatilis, Asplenium Ruta muraria*, mais qui constitue une association spéciale parce que le coefficient de communauté des caractéristiques est inférieur à un quart.

1. *Association silicicole à Antirrhinum Asarina.*
(*Asarinetum rupestre*).

En raison de la prédominance des terrains granitiques et schisteux, cette association occupe une place bien plus étendue que l'association calcaire à *Potentilla caulescens*. Presque tous les escarpements siliceux d'une certaine étendue portent les guirlandes de l'élégant *Antirrhinum Asarina*. Il grimpe le long des fissures de rochers et de vieilles murailles, les garnissant à merveille de ses grandes corolles jaunes tachées de rouge. *Antirrhinum Asarina,* caractéristique par excellence, est répandue de 200 à 1.540 m. (Pic de la Fajeole). Dans les Pyrénées orientales, elle descend au bord de la mer (Port-Bou) et s'élève à 2.080 m. au Canigou.

Les 14 relevés de l'*Asarinetum rupestre* pris dans notre domaine entre 220 et 1.400 m. proviennent des localités suivantes :

N° 1. Pont d'Hérault, 220 m., exposition sud-ouest, schistes.
» 2. Derrière Valleraugue, 400 m., sud, schistes.
» 3. Mas du Comte, 500 m., sud, schistes.
» 4. Derrière Aumessas, 580 m., sud, granit.
» 5. Crête au-dessus de Lassalle (Bez) 650 m., sud, schistes.
» 6. Le Caladon sur Aumessas, 700 m., sud-ouest, granit.
» 7. Vallée de la Brèze près de Meyrueis, 750 m., schistes.
» 8. Roquedols, 780 m., sud-sud-ouest, schistes.
» 9. Près de Connillergues, 800 m., sud, schistes.
» 10. Route de l'Esperou, 950 m., nord, schistes.

N° 11. En amont de Jontanels, 950 m., sud, Si.
» 12. Au-dessous de l'Hort-de-Dieu, 1.200 m., sud, schistes.
» 13. Serre de la Luzette, 1.300 m., nord, schistes.
» 14. Pic de la Fajeole, 1.400 m., sud-est, schistes.

Ajoutons comme espèces plus ou moins caractéristiques, mais qui manquent aux relevés ci-dessus : *Saxifraga Clusii* (caractéristique de premier ordre), *Sedum brevifolium* (échelon montagnard), *Sempervivum arvernense, Saxifraga pedatifida* (surtout dans les éboulis) et *Allosurus crispus*. Cette petite fougère, sans doute un survivant de l'époque glaciaire est étroitement cantonnée dans les fissures, à l'ubac ombragé des rochers granitiques et schisteux. On la trouve dans ces conditions spéciales à la Caumette (Flahault 1910, 2 individus; Braun 1913, 3 individus); au versant nord de la Serre de la Luzette, entre 1.300 et 1.360 m., et dans la forêt de *Pinus silvestris* à Cime de la Côte, sur Roquedols, 950 m.

La composition de l'association à *Antirrhinum Asarina* présente, comme toutes les associations dites ouvertes un caractère peu homogène; témoin le grand nombre d'espèces accidentelles et la rareté des constantes absolues. Ces dernières sont au nombre de onze seulement, tandis que dans la hêtraie, nous en comptons vingt-sept; dans la prairie à *Arrhenatherum,* trente-et-un; dans la châtaigneraie irriguée, trente-deux. L'ensemble de l'association comprend quatre caractéristiques de premier ordre, quinze de deuxième ordre, trois constantes non caractéristiques, sans compter les espèces accessoires et accidentelles. Toutes les caractéristiques de premier ordre fuient le calcaire. Des caractéristiques de deuxième ordre sont calcifuges : *Sedum hirsutum, Saxifraga hypnoides, Dianthus graniticus, Centaurea pectinata* (très rarement sur Ca) et *Leucanthemum palmatum*, parmi les constantes et accessoires : *Anarrhinum bellidifolium*, *Genista purgans, Reseda Jacquini, Plantago carinata, Alchemilla saxatilis, Alsine laricifolia.* Toutes les autres sont des espèces plus ou moins indifférentes à l'égard du substratum.

Jetons un coup d'œil sur l'écologie spéciale de l'association en question. Son port xérophile exprime au plus haut degré l'influence de la sécheresse et des températures extrêmes. Les Fougères rupestres, divers *Asplenium, Ceterach, Polypodium*,

NUMÉRO DU RELEVÉ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ALTITUDE M. S. M.	220	400	500	580	650	700	750	780	800	950	950	1200	1300	1400
a) *Caractéristiques de 1er ordre*														
Ch (1) Antirrhinum Asarina ..	...	3	3	...	...	...	3	2	1	2	2	3	2	...
H Asplenium foresiacum ...	...	1	3	...	...	2	2	2	1	...	...	...	...	...
H — septentrionale	...	1	2	2	1	1	3	2	1	2	3	3	...	1
H Cheilanthes odora	...	2	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
b) *Caractéristiques de 2e ordre*														
H Silene Saxifraga	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	3	3	...
Ch Umbilicus pendulinus....	1	...	3	2	2	1	1	1–2	2	...	1	...	...	...
Ch Sedum hirsutum	...	2	2	3	2	3	3	3	3	1	3	2	...	...
H Ceterach officinarum	3	...	...	1	...	1	...	...	...	...	...	1	...	...
H Leucanthemum palmatum	...	...	...	2	...	2	...	...	...	...	...	...	...	...
Ch Phagnalon sordidum	3	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
H Asplenium Trichomanes .	1–2	...	...	1	1	...	...	1	1	1	1	3	...	1
Ch Saxifraga hypnoides.....	...	...	...	...	...	...	...	...	...	1	2	2	...	1
Ch Sempervivum tectorum ..	1	...	...	...	...	1	1	2	2	...	2	2	...	1
H Lactuca viminea	1	1	1	1	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Ch Sedum dasyphyllum	2	1	...	...	...	...	...	...	...	...	...	2	...	1
Ch Dianthus graniticus	...	1	...	...	...	...	2	1	2	...	1	1	...	1
H Centaurea pectinata.....	...	...	1	1	...	1	1	1	...	1	1	1	...	1
Ch Sedum album	1–2	...	...	...	...	...	...	...	...	...	1	...	...	1
G Polypodium vulgare.....	1	...	...	1	1	1	...	...	...	1	...	...	...	1
c) *Constantes*														
H Festuca duriscula.....	1	2	2	2	1	2	3	1	2	1	3	3	1	1
H Anarrhinum bellidifolium	1	1	...	1	1	1	1	1	1	...	1	1	...	...
P Genista purgans	...	...	...	1	1	...	1	1	1	1	1	1	...	1
d) *Espèces accessoires*														
H Linaria striata.....	...	2	1	...	...	...	1	2	1	...	...	2	...	...
H Silene italica	2	1	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
T Reseda Jacquini	...	1	1	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Ch Plantago carinata.....	...	...	...	...	2	1	...	...	...	...	1	...	...	1
Ch Alchemilla saxatilis	...	...	...	...	...	1	...	...	...	2	...	...	1	1
Ch Alsine laricifolia	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	1	1
Ch Saxifraga Aizoon	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	1	2	2
e) *Espèces accidentelles*	10	5	7	9	4	8	4	4	6	8	6	6	7	12

(1) Types biologiques de Raunkiær, voir p. 252. — Les chiffres se rapportent au degré de fréquence.

Cheilanthes odora en donnent une expression parfaite. Pendant la longue sécheresse estivale, leurs frondes déjà si réduites s'enroulent par leurs bords, attendant à l'état de vie latente le retour des premières pluies d'automne. *Cheilanthes, Ceterach, Notochlaena Marantae* ont la face *inférieure* de leurs frondes, *exposée aux rayons solaires,* couverte d'une épaisse couche d'écailles brunâtres, protégeant à la fois le contenu cellulaire contre les radiations intenses et réduisant la transpiration. Ces Fougères reprennent leur vie active en automne, déployant leurs frondes et produisant en *hiver* et au *premier printemps* de nouvelles feuilles au centre de la rosette. L'été, saison défavorable pour elles, constitue la période de repos.

Les plantes succulentes réalisent un autre mode de défense contre la chaleur excessive et la sécheresse. Elles gardent une turgescence relative, même en plein été. Nous en rencontrons sur les rochers siliceux de notre district :

Umbilicus pendulinus	*Sedum hirsutum*
Sempervivum tectorum	— *dasyphyllum*
— *arvernense*	— *album*
— *arachnoideum*	— *rupestre*
Sedum brevifolium	— *anopetalum*

Certaines Saxifrages (*Saxifraga Clusii, S. pedatifida, S. hypnoides*) montrent aussi une tendance plus ou moins accusée à la succulence, mais leur adaptation xérophytique se traduit mieux par le mode de croissance ; c'est celui des plantes en coussinets. Le plus bel exemple nous en est fourni par le *Saxifraga cebennensis* des rochers calcaires, qui imite tout à fait, avec ses rangées de petites feuilles glanduleuses, étroitement imbriquées, les Saxifrages des hauts sommets (*Saxifraga exarata, S. mixta*). Les *Saxifraga pedatifida, S. hypnoides, S. Aizoon* et *Plantago carinata* ont le même port général, mais leurs touffes sont beaucoup moins compactes. *Arenaria capitata* avec une souche dure, ligneuse et des feuilles coriaces, épaissies à la marge et imbriquées, réalise un autre type de ce genre d'adaptation.

La transpiration peut être réduite aussi par un revêtement de poils (*Centaurea pectinata, Sempervivum arachnoideum, Phagnalon sordidum*), par la diminution de la surface transpi-

ratoire (*Dianthus graniticus, Alsine laricifolia, Genista purgans*), par enroulement ou pliage de la feuille (Graminées), par sécrétions de substances visqueuses (*Antirrhinum Asarina, Silene Saxifraga, Sedum hirsutum, Saxifraga Clusii, S. pedatifida*).

La répartition des formes biologiques, ou pour reprendre le terme introduit par M. Raunkiaer, le spectre biologique de l'*Asarinetum rupestre,* s'établit de la manière suivante :

1 Phanérophyte,
13 Chaméphytes,
13 Hémicryptophytes
1 Géophyte,
1 Thérophyte.

La forte proportion des Chaméphytes (45,5 %) n'est dépassée dans aucune autre association de notre dition. Les Géophytes, représentés par le seul *Polypodium vulgare* et les Thérophytes, manquent à peu près dans les associations rupestres. Les Phanérophytes, arbres et arbustes, y sont plus fréquents. Citons parmi les Phanérophytes accessoires non mentionnés dans notre tableau : *Lonicera etrusca, Quercus Ilex, Phillyrea media, Cistus salvifolius.* Par leur propre croissance, ces végétaux modifient parfois eux-mêmes les conditions stationnelles en accumulant de l'humus et en élargissant les fissures dans lesquelles peuvent s'installer alors des espèces étrangères à la végétation rupestre.

La plupart des plantes rupestres possèdent des feuilles persistantes. Le froid qu'elles ont à supporter chez nous leur est évidemment moins nuisible que la sécheresse de l'été.

Quant à la *synécologie géographique,* l'association à *Antirrhinum Asarina* se divise chez nous en deux échelons altitudinaux floristiquement assez différents. L'échelon inférieur ou des vallées se distingue par l'abondance de l'*Umbilicus pendulinus* et par la présence des espèces suivantes : *Cheilanthes odora, Phagnalon sordidum, Reseda Jacquini* (toutes seulement sur le versant méditerranéen), *Lactuca viminea* et *Silene italica.* L'échelon supérieur ou montagnard commence à 1.000 m. environ et possède en propre *Sedum brevifolium, Alsine laricifolia, Saxi-*

fraga Aizoon, Allosurus crispus. Silene Saxifraga et *Saxifraga hypnoides* se font remarquer par leur fréquence.

La distribution géographique des *associations rupestres* est encore peu connue. Le Massif central constitue selon toute probabilité une seule race de l'association à *Antirrhinum Asarina,* ne présentant que des modifications locales, s'appauvrissant peu à peu vers le Nord de la France. Les endémiques *Dianthus graniticus, Sempervivum arvernense* et *Saxifraga pedatifida* sont particuliers à cette race. *Saxifraga pedatifida* est localisé aux Cévennes du Gard, de la Lozère, de l'Aveyron, de l'Hérault et de l'Ardèche ; les deux premières espèces s'avancent jusqu'au département de la Loire et du Puy-de-Dôme. Sous la même latitude s'arrêtent *Antirrhinum Asarina, Centaurea pectinata, Sedum brevifolium* et *Leucanthemum palmatum,* tandis que *Saxifraga Clusii,* caractéristique de premier ordre ne dépasse pas la Lozère. Toutes ces espèces se retrouvent sur les rochers siliceux des Pyrénées avec lesquelles la race du Massif central a des relations étroites. Comme terme de comparaison, nous donnons ici la liste phanérogamique d'un exemple de la race sous-pyrénéenne de l'*Asarinetum rupestre* pris au-dessus de Banyuls-sur-Mer à 600 m. d'altitude. Ces rochers schisteux possèdent :

Antirrhinum Asarina	*Phyteuma Charmelii*
Silene Saxifraga	*Plantago carinata*
Sedum hirsutum	*Potentilla nivalis*
Aspleninm Trichomanes	*Asplenium Ad. nigrum*

Hieracium species

Le *Phyteuma Charmelii* qui coudoie ici l'*Antirrhinum Asarina* est localisé dans les Cévennes sur les rochers calcaires.

Quelques indications encore sur l'*évolution* (l'ontogenèse) de l'association. Il va sans dire qu'un rocher quelconque ne représente pas nécessairement une association *définie.* Cette association constitue seulement une phase d'une longue évolution : la phase de développement optimum, en harmonie avec les facteurs externes et par conséquent d'une certaine durée. A ce type défini se rattachent d'une part les stades de développement, de l'autre ceux de régression. Des facteurs très divers peuvent déterminer

cette régression. Pour les associations rupestres, c'est en général l'érosion qui intervient, démolissant parfois en quelques instants ce que des siècles avaient édifié.

La route de Valleraugue à l'Esperou, construite en 1856, est taillée en certains endroits entièrement dans la roche. Les parois des micaschistes en bordure de la route laissent voir dans quelle mesure les explosifs et la pioche sont intervenus et quelles ont été les parties démantelées à cette époque. Nous avons relevé l'inventaire d'un de ces emplacements situé à 960 m. d'altitude et exposé au nord. A part quelques touffes de Bryophytes *(Grimmia commutata, Rhacomitrium heterostichum, Hedwigia albicans)*, nous y avons trouvé un petit nombre d'individus d'*Asplenium septentrionale,* quelques rares pieds d'*Aspidium Filix mas, Poa nemoralis, Deschampsia flexuosa, Festuca ovina, Campanula rotundifolia, Cardamine resedifolia, Calluna vulgaris, Hieracium species* et un seul individu de chacune des espèces suivantes : *Asplenium Trichomanes, Polypodium vulgare, Valeriana tripteris* et *Genista purgans.*

Après soixante ans d'évolution ininterrompue, la flore n'y a donc pas encore acquis son équilibre, le stade plus ou moine durable de l'association définie : témoignage de la lenteur de l'établissement de la flore rupestre. A côté de cette localité, sur des rochers intacts, non entamés par la construction de la route, croissent les caractéristiques : *Antirrhinum Asarina, Saxifraga hypnoides, Centaurea pectinata, Sedum rupestre, S. hirsutum,* etc.

2. *Association à Potentilla caulescens et Saxifraga cebennensis.*

Cette association, nommée d'après les deux espèces les plus caractéristiques, liée aux falaises et aux escarpements calcaires, trouve son plus beau développement sur les rochers dysgéogènes de la bordure des Causses. Un type (échelon) montagnard ayant en particulier les *Phyteuma Charmelii, Asplenium viride, Avena montana* (rochers et éboulis) et *Saxifraga Aizoon* (Ca et Si) peuple l'étroite bande calcaire qui traverse le massif siliceux au-dessous de l'Hort-de-Dieu, à 1.200 m. d'alt. environ.

Les quelques relevés floristiques dont nous disposons ne nous permettent pas d'établir un tableau comparatif comme nous l'avons fait pour l'association à *Antirrhinum Asarina*. Nous nous contenterons d'indiquer les caractéristiques et d'ajouter quelques exemples de l'association pris dans diverses localités.

Caractéristiques de premier ordre.

H Potentilla caulescens	*H Athamanta cretensis*
Ch Saxifraga cebennensis	*H Erinus alpinus*
Ch Arenaria capitata	*H Phyteuma Charmelii*
Ch Alyssum spinosum	*H Centranthus Lecoquii*
H Kernera saxatilis	*H Hieracium* div. *species*

Caractéristiques de deuxième ordre.

a) Calcicoles.

Ch Arenaria hispida	*H Linaria origanifolia*
Ch Alsine mucronata	*T — supina*
H Asplenium Ruta muraria	*P Daphne alpina*
H — viride	*Ch Arabis alpina*
H Stipa juncea	*Ch Sedum altissimum*
H Laserpitium Siler	*Ch Fumana Spachii*

b) Indifférentes (sur Si et Ca).

H Ceterach officinarum	*H Lactuca viminea*
H Silene Saxifraga	*H Saxifraga Aizoon*
Ch Phagnalon sordidum	*H Asplenium Trichomanes*
Ch Umbilicus pendulinus	*H Polypodium vulgare*
Ch Sempervivum tectorum	*Ch Sedum anopetalum*
Ch Sedum dasyphyllum	*Ch — album*

Ch Sedum rupestre

Les formes biologiques ne diffèrent guère de celles de l'association précédente. Les Géophytes, Phanérophytes et Thérophytes font à peu près défaut. Chaméphytes et Hémicryptophytes dominent.

Bon nombre d'espèces caractéristiques de deuxième ordre sont communes aux deux associations, attestant ainsi les rapports écologiques étroits qu'on pouvait prévoir.

Une étude détaillée de l'association à *Potentilla caulescens* et *Saxifraga cebennensis* aboutirait certainement à une subdivision de ce groupement en plusieurs sous-associations, montrant des variations constantes, mais légères, dans la composition floristique. Dès 1879, M. J.-E. Planchon a signalé les *Arenaria hispida, A. capitata* et *Armeria juncea* comme spécialement fidèles à la dolomie compacte. *Arabis alpina, Erinus alpinus* et *Asplenium viride* préfèrent au contraire les roches eugéogènes; ils recherchent l'ombre et l'humidité. Les deux derniers atteignent même les micaschistes, s'il y a du calcaire au voisinage ou si l'eau qui les humecte a traversé une assise calcaire.

Voici trois relevés typiques de l'association à *Potentilla caulescens* et *Saxifraga cebennensis* provenant (N° 1) du versant méditerranéen, (N° 2) de l'étage supérieur et (N° 3) du versant atlantique. Les deux caractéristiques qui donnent le nom à l'association, manquent aux relevés 1 et 2.

N° 1. Escarpements jurassiques du Roc d'Esparron (vallée de l'Arre) exposition sud, 670 m. :

Alyssum spinosum	*Sedum dasyphyllum*
Alsine mucronata	— *rupestre*
Asplenium Ruta muraria	*Lactuca viminea*
Ceterach officinarum	*Campanula Erinus*
Silene Saxifraga	*Parietaria ramiflora*
Linaria origanifolia	*Helichrysium Stœchas*
Fumana Spachii	*Rhamnus Alaternus*
Sedum album	*Polypodium vulgare*
Asplenium Trichomanes	*Thymus vulgaris*

auxquelles s'ajoutent à l'ubac :

Arenaria hispida, Kernera et *Daphne alpina.*

N° 2. Rocher carré à l'ouest de l'Hort-de-Dieu, 1.220 m., sud :

Alyssum spinosum	*Sempervivum tectorum*
Kernera saxatilis	*Saxifraga Aizoon*
Phyteuma Charmelii	*Valeriana tripteris*
Asplenium Ruta muraria	*Antirrhinum majus*
Silene Saxifraga	*Amelanchier vulgaris*

Ceterach officinarum	*Rhamnus alpina*
Linaria origanifolia	*Potentilla rupestris*
Sedum album	*Asplenium Trichomanes*
— *dasyphyllum*	*Acer opulifolium*
Hieracium amplexicaule	*Festuca ovina* var.

et quatre à cinq espèces accidentelles.

N° 3. Falaise jurassique sur Meyrueis, 700-730 m., nord :

Potentilla caulescens	*Ceterach officinarum*
Saxifraga cebennensis	*Linaria supina*
Erinus alpinus	*Alsine mucronata*
Arabis alpina	*Asplenium Trichomanes*
Asplenium Ruta muraria	*Valeriana tripteris*
Linaria origanifolia	*Cystopteris fragilis*
Daphne alpina	*Amelanchier vulgaris*
Hieracium amplexicaule	*Poa alpina*

Sedum maximum

et plusieurs espèces accidentelles.

Il semble parfaitement logique d'envisager la région cébennique au sens large comme appartenant à une race à part, ayant en propre plusieurs caractéristiques endémiques. Tels sont *Saxifraga cebennensis* (Cévennes du Gard, de l'Hérault, de l'Aveyron, de la Lozère), *Arenaria hispida* (Hérault, Gard, Aveyron) et *Hieracium stelligerum* (Hérault, manque dans notre dition). Quelques autres espèces également caractéristiques sont plus répandues dans les montagnes du midi, entre les Pyrénées et les Alpes-Maritimes, mais ne dépassent pas les Cévennes vers le nord *(Arenaria capitata, Alyssum spinosum, Phyteuma Charmelii, Linaria origanifolia).*

Les Pyrénées d'un côté et les Alpes de l'autre, présentent non seulement des races, mais encore des échelons altitudinaux différents. Pour la partie nord-est de la Suisse, nous sommes renseignés sur ce point par le travail de M. Oettli (l. c. 1903). *Potentilla caulescens* y est également une des espèces les plus caractéristiques; on y rencontre en outre *Kernera saxatilis, Erinus alpinus, Athamanta cretensis, Asplenium Ruta muraria* et d'autres espèces. C'est évidemment la même association que

dans les Cévennes, montrant cependant des modifications régionales dues au passé géologique.

M. Geilinger (l. c. 1908) qui a étudié la flore rupestre de la Grigna (Préalpes bergamasques) y distingue trois échelons altitudinaux. L'échelon inférieur s'arrêtant entre 950 et 1.060 m. avec :

Potentilla caulescens	*Sedum album*
Ceterach officinarum	— *rupestre*
Asplenium Ruta muraria	*Amelanchier vulgaris*
Silene Saxifraga	*Phyteuma charmelioides*
Kernera saxatilis	*Hieracium porrifolium*
Asplenium Trichomanes	*Rhus Cotinus*
Laserpitium Siler	*Buphthalmum speciosissimum*

L'échelon moyen, de 1.000 à 1.900 m., avec :

Potentilla caulescens	*Saxifraga mutata*
Asplenium Ruta muraria	— *cæsia*
Phyteuma charmelioides	*Primula Auricula*
Saxifraga elatior	*Carex mucronata*
Phyteuma comosum	*Valeriana saxatilis*

L'échelon supérieur, de 1.900 à 2.400 m., avec :

Saxifraga Vandellii	*Festuca alpina*
Potentilla nitida	*Arabis pumila*

et d'autres espèces alpines.

L'échelon inférieur correspondant à peu près au développement de l'association dans notre domaine peut, en raison de ses affinités floristiques, être considéré comme race régionale; au contraire, les groupements de l'étage moyen et supérieur, quoique possédant encore le *Potentilla caulescens,* sont une association bien différente (cf. p. 257).

Afin de permettre une comparaison de la race cébennique avec celle des Préalpes occidentales les plus rapprochées de notre massif, nous ajouterons un relevé pris au Pertuis de la Forêt de Saou (Drôme) à 380-400 m. Les falaises du pertuis, exposées au nord-nord-est, offrent :

Potentilla caulescens ssp. *petiolulata*
Kernera saxatilis
Erinus alpinus
Asplenium Ruta muraria
Juniperus Sabina
Athamanta cretensis
Asplenium fontanum
Pimpinella Tragium
Saxifraga Aizoon
Hieracium amplexicaule
Fumana Spachii
Draba aizoides
Asplenium Trichomanes
Globularia cordifolia
Amelanchier vulgaris

et quelques espèces accessoires et accidentelles.

L'ABSORPTION

DES

RADIATIONS ULTRA VIOLETTES ET INFRA ROUGES

PAR LA

TERRE ARABLE

PAR

J. FIDEL TRISTAN et Gustave MICHAUD

Professeurs à l'Ecole Normale de Costa Rica

L'absorption des radiations solaires par la terre arable est sans doute un phénomène important en agriculture, bien que nous soyons encore loin, aujourd'hui, d'en connaître toutes les conséquences chimiques ou bactériologiques, il nous a paru intéressant d'en rechercher les valeurs relatives pour les deux extrémités invisibles du spectre et pour les quatre types principaux de terre arable considérés à l'état sec et à l'état humide.

Nous avons eu recours, dans ce but, à la méthode photographique.

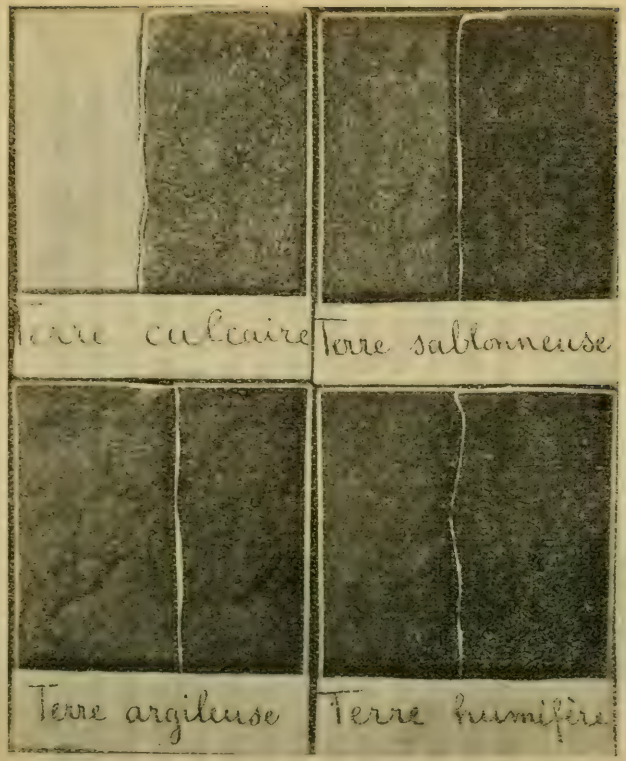
Pour isoler l'extrême ultra violet du spectre solaire, la pellicule d'argent de Foucault, déposée par le procédé d'argenture de Liebig, sur une lentille de quartz constituant l'objectif photographique, était le filtre tout indiqué. Le biologiste qui désire étudier les effets, non pas d'une lumière ultra violette de longueur d'onde quelconque, mais uniquement de celles des radiations ultra violettes qui sont présentes dans la lumière solaire, trouvera dans le filtre de Foucault un auxiliaire d'une valeur inestimable. En effet, coincidence bien singulière, les seules radiations qu'une pellicule d'argent laisse passer sont

précisément les dernières radiations ultra violettes présentes dans la lumière solaire au niveau de la mer. On peut admettre, *grosso modo,* que l'ultra violet commence vers 3934 U. A. et que l'ultra violet solaire pour lequel l'atmosphère est encore transparente au niveau de la mer prend fin vers 3100 U. A. A des très grandes altitudes, telles que le sommet du Mont-Blanc, on gagne peut être de 100 à 150 U. A. Or l'exceptionnelle transparence de l'argent pour les radiations ultra violettes atteint son maximum vers 3200 U. A. Elle n'est plus qu'à peine sensible à 3100 et 3300 U. A., de part et d'autre du point de transparence maxima.

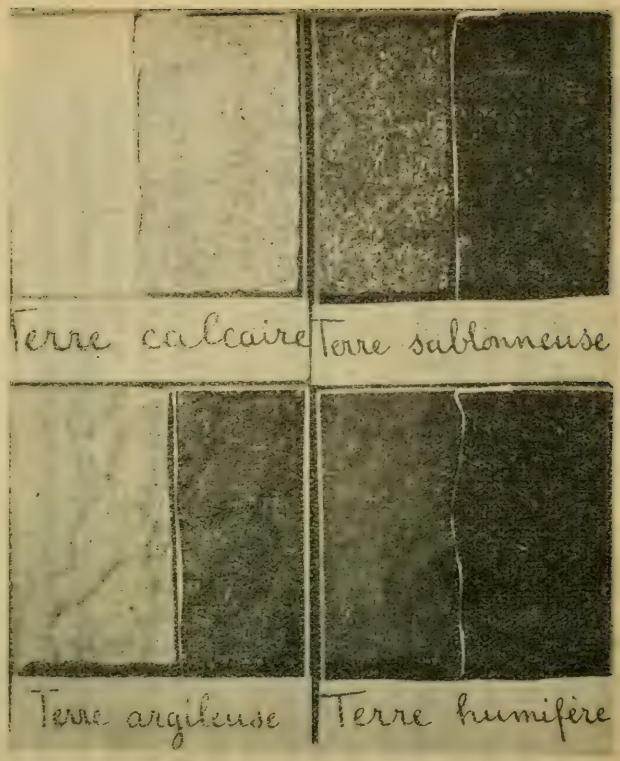
Pour séparer de la lumière solaire les radiations infra rouges nous avons employé le Filtre de Wood, fabriqué par la maison anglaise de Wratten et Wainwright, de Croydon. La sensibilisation des plaques par le bleu d'alizarine S. (combinaison bisulfitique de la dioxyanthraquinonequinoleine), nous a permis d'aller dans l'infra rouge jusque vers 10000 U. A. Après bien des essais nous nous sommes arrêtés à la technique suivante : Pour une plaque 13 × 18 cm. nous préparons le bain que voici :

Alcool à 50 % : 200 c. c.
Ammoniaque : 2 c. c.
Bleu d'alizarine S. : 0,04 gr.
Solution de nitrate d'argent à 10 % : 5 gouttes.

Chacun de ces produits est placé dans un flacon séparé. Au moment de sensibiliser la plaque on introduit l'ammoniaque et le bleu d'alizarine dans l'alcool. On bouche le flacon, on l'emporte dans le cabinet obscur et on agite durant environ 5 minutes pour dissoudre la couleur. On filtre alors la solution dans le flacon qui a préalablement reçu les 5 gouttes de la solution argentique (l'opération inverse, c'est-à-dire l'addition de cinq gouttes à la solution filtrée ne pouvant guère s'effectuer dans l'obscurité). On agite pour obtenir un mélange homogène et on verse celui-ci sur la plaque contenue dans une cuvette appropriée à sa dimension. La plaque doit séjourner dans ce bain trois minutes exactement, temps durant lequel on balance sans cesse la cuvette. On lave la plaque ensuite durant trois minutes dans de l'eau courante. On en sèche sommairement le dos avec



Terres arables, calcaire, sablonneuse, argileuse et humifère : chacune d'elles étant divisée en deux échantillons adjacents, l'un sec (à droite), l'autre humide (à gauche).
Photographie faite en lumière ultra violette.



Même photographie
faite en lumière infra rouge.

une feuille de papier à filtrer et on la dépose verticalement dans une boîte intérieurement peinte en noir et qui contient une capsule remplie de fragments de chlorure de calcium fondu. On ferme hermétiquement la boîte. Une heure plus tard la plaque peut être introduite dans le châssis. Il convient de l'employer le jour même où elle a été sensibilisée car elle perd assez rapidement ses remarquables propriétés optiques. Inutile d'ajouter que toutes ces opérations, depuis le mélange des solutions qui constituent le bain sensibilisateur, jusqu'au chargement des châssis, doivent se faire dans une obscurité absolue, un métronome ou un pendule tenu à la main étant employé pour mesurer les temps.

Un premier fait intéressant révélé par les deux photographies ci-jointes est que les différences considérables dans l'absorption de l'infra rouge par la terre arable selon qu'elle est humide ou sèche, diminuent ou deviennent même imperceptibles (terre argileuse), pour l'ultra violet. Un autre fait curieux est la différence que l'on observe dans l'absorption des deux extrémités opposées du spectre par la terre argileuse sèche. Puissante pour l'ultra violet l'absorption pratiquée par la terre argileuse sèche est presque nulle pour l'infra rouge, ce qui équivaut à dire que, si nos yeux pouvaient percevoir les radiations ultra violettes et les infra rouges, la terre argileuse sèche, éclairée par la lumière ultra violette, nous paraitrait noire, tandis qu'en lumière infra rouge, elle serait blanche.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES AUX

FORTIFICATIONS DE SAINT-MAURICE

PENDANT LES MOIS DE

mars, avril et mai 1914

(PRINTEMPS 1914)

OBSERVATIONS DIVERSES

Mars 1914

Brouillard. — *Brouillard pendant une partie de la journée:* les 1 et 20 à Dailly ; les 1, 2, 3, 4, 20 et 21 à l'Aiguille.

Neige sur le sol : les 10, 16, 18 et 21 à Savatan ; du 1 au 5, du 10 au 13 et du 16 au 31 à Dailly ; du 1 au 6 et du 10 au 31 à l'Aiguille.

Fœhn : le 9 aux trois stations inférieures.

Orage : le 14.

Avril 1914

Brouillard. — *Brouillard pendant une partie de la journée:* les 3 et 8 à Savatan ; le 15 à Dailly et à l'Aiguille.

Neige sur le sol : les 5, 8 et 9 à Dailly ; les 5 et 6 et du 8 au 10 à l'Aiguille.

Mai 1914

Brouillard. — I. *Brouillard tout le jour :* le 10 à Dailly et à l'Aiguille. — II. *Brouillard pendant une partie de la journée:* le 25 à Savatan ; les 1, 2, 9, 11, 24, 26, 27 et 28 à Dailly et à l'Aiguille.

Neige sur le sol : du 9 au 13 à Dailly et à l'Aiguille.

Orage : les 5 et 23.

MOIS DE MARS 1914

Jours du mois	Baromètre Hauteur moyenne		Thermomètre Température moyenne		Hygromèt. Fraction de saturation moyenne		Nébulosité moyenne			Pluie et Neige (hauteur mesurée)							
										Lavey		Savatan		Dailly		Aiguille	
	Savatan	Dailly	Savatan	Dailly	Savatan	Dailly	Lavey	Savatan	Dailly	Pluie	Neige	Pluie	Neige	Pluie	Neige	Pluie	Neige
	mm.	mm	o	o	%	%				mm.	cm.	mm.	cm.	mm.	cm.	mm.	cm.
1	705.1	658.1	+ 3.9	+ 0.5	79	81	8	7	7	....	....	....	....	....	....	....	....
2	702.4	655.4	+ 1.6	- 1.7	89	87	8	10	10	5.5	..	4.0	....	11.6	10	10.9	17
3	703.6	655.8	**- 1.4**	**- 4.4**	72	86	7	8	8	0.2	....	....	....	0.9	1	3.1	5
4	704.9	657.2	+ 1 1	- 2.2	72	87	10	10	10	0.6	....	2.8	....	1.0	1	1.6	3
5	703.5	656.7	5.0	+ 3.8	87	60	10	10	9	1.4	....	2.2	....	2.1	....	2.2	....
6	699.7	654.6	6 1	4.2	100	79	10	10	10	18.2	....	17.0	....	16.1	....	16.9	....
7	700.4	654.7	6.8	4.8	94	65	10	9	10	14.0	....	12.4	....	11.9	....	12.1	....
8	702.2	656.0	8.5	6.8	76	50	3	5	2	....	....	....	....	....	....	....	....
9	698.2	653.2	**11.1**	7.8	**42**	**16**	5	5	5	1 5	....	1.5	....	0.7	....	1.2	....
10	695.6	650.3	7.2	+ 3.2	68	69	10	10	10	**34.2**	....	**32.5**	2	**29.7**	15	**26.9**	18
11	704.0	656.2	0.5	- 3.2	85	92	10	10	9	1.2	....	1.0	....	2.4	2	3 2	4
12	708.8	661.7	1.1	+ 0.1	72	42	7	7	7	2.8	....	3.5	....	4.1	....	4 5	1
13	709.8	663.8	7.9	6.6	79	54	6	6	8	....	....	....	....	....	....	....	....
14	706.2	659.3	9.1	**8.3**	58	70	4	4	7	3.7	....	2.6	....	3.2	....	2.9	1
15	707.7	660.9	5.5	3.3	62	43	5	3	5	....	....	....	....	....	....	....	....
16	700.9	654.4	4.5	+ 3 4	77	64	10	10	10	28.5	....	29.0	**4**	24.3	14	26.3	16
17	702.6	655 1	0.1	- 3.6	89	88	5	5	6	0.9	....	....	....	3 1	3	3.9	6
18	695.6	649.8	2.7	- 2.1	54	31	7	7	5	2.8	....	3.8	2	2.1	3	2.9	5
19	693.0	647.3	2.4	0.0	72	46	7	7	7	3.5	....	2.0	....	0.4	1	2.2	4
20	689.0	643.1	2.9	- 0.8	78	99	10	10	10	13.0	....	9.5	....	10 3	12	10.9	18
21	690.6	643 3	2.5	- 1.3	74	59	10	9	10	2.3	....	3.5	2	4 6	4	5.2	5
22	691.5	644.4	3.0	- 0.3	69	38	8	8	9	....	....	....	....	0.2	1	0.9	1
23	698.5	650.6	1.9	- 1.2	73	47	10	7	6	4.2	....	3.5	....	5.4	1	5.7	3
24	694.1	648.3	1.9	- 1.7	74	75	7	6	10	5.1	....	4.2	....	4.3	4	4.9	6
25	**687.2**	**642.9**	4.3	+ 0.8	86	100	10	10	10	8.5	....	9.0	....	6.9	4	7.3	4
26	690.2	643 7	2.3	- 0.2	82	68	10	10	10	12.4	....	11.5	...	13.7	18	13 9	19
27	697.5	649.2	0.8	- 1.6	100	68	10	10	10	15 5	....	10.4	....	13.8	**19**	13.7	**21**
28	704.9	655.6	2.2	- 0.7	72	72	5	6	5	0.5	....	0.7	....	....	....	....	....
29	705.0	657.8	4.3	+ 1.6	47	20	0	2	0	....	....	...	....	....	...	....	....
30	711.2	664.4	7.6	5.1	55	35	2	2	2	....	....	....	....	...	....	....	....
31	**714.0**	**667.8**	+ 10 0	+ 7.8	53	28	0	0	0	....	....	....	....	....	....	....	....
Mois	700.58	653.92	+ 4.11	+ 1.40	74	62	7.2	7.2	7.3	180.5	....	166.6	10	172.8	113	183.3	157

MOYENNES DU MOIS DE MARS 1914

Pression atmosphérique

	Savatan				Dailly			
	7 h. m. mm.	1 h. s. mm.	9 h. s. mm.	Moyenne mm.	7 h. m. mm.	1 h. s. mm.	9 h. s. mm.	Moyenne mm.
1re décade ...	701.56	701.09	702 01	701.56	655.42	655.01	655.16	655.20
2me » ...	701 90	701.27	702.14	701 77	655.41	655.08	654.99	655 16
3me » ...	697.70	698.71	699.42	698.61	650.60	651.91	652.44	651.65
Mois..	700.30	700.30	701.13	700.58	653.69	653.93	654.13	653.92

Température

	Savatan					
	7 h. m. °	1 h. s. °	9 h. s. °	Moyenne °	Minim. moyen °	Maxim. moyen °
1re décade ...	+ 4.02	+ 6.50	+ 4.47	+ 5.00	+ 1.0	+ 7.9
2me » ...	1.92	6.06	3.06	3.68	0.0	6.9
3me » ...	1.82	6.02	3.29	3.71	0.1	7.2
Mois..	+ 2.56	+ 6.19	+ 3.60	+ 4.11	+ 0.4	+ 7.3
	Dailly					
1re décade ...	+ 1.54	+ 3.75	+ 1.56	+ 2.28	- 0.7	+ 5.5
2me » ...	- 1.18	+ 3.43	+ 1.38	+ 1.21	- 2.6	+ 4.5
3me » ...	- 0.65	+ 2.35	+ 0.57	+ 0 76	- 1.9	+ 3.5
Mois..	- 0.11	+ 3.12	+ 1.15	+ 1.40	- 1.7	+ 4.4

Fraction de saturation en %

	Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
1re décade ...	82	74	77	78	72	62	70	68
2me » ...	80	62	76	73	71	56	61	63
3me » ...	78	61	75	72	60	50	56	55
Mois ..	80	66	76	74	68	56	62	62

Nébulosité

	Lavey				Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
1re décade ...	9.0	7.9	7.5	8.1	9.1	8.9	7.3	8.4	8 5	8.3	7.6	8.1
2me » ...	7.9	6.1	7.4	7.1	7.3	6.1	7.7	7.0	7.9	7.0	7.5	7.4
3me » ...	7.0	7.0	5.5	6.5	7.5	7.1	4.5	6.4	7.0	7.1	5.5	6.5
Mois..	7.9	7.0	6.7	7.2	7.9	7.3	6.5	7.2	7.8	7.4	6.8	7.3

MOYENNES DU MOIS D'AVRIL 1914

Pression atmosphérique.

	Savatan				Dailly			
	7 h. m. mm.	1 h. s. mm.	9 h. s. mm.	Moyenne mm.	7 h. m. mm.	1 h. s. mm.	9 h. s. mm.	Moyenne mm.
1re décade ...	703.17	702.81	703.43	703.14	656 92	656.85	656.90	656.89
2me » ...	706.64	705.94	706.11	706.23	659.67	659.74	659 86	659.75
3me » ...	709.20	708.57	708.29	708.69	662.44	662.16	661.79	662.13
Mois..	706 34	705.77	705 94	706.02	659.68	659 58	659.52	659.59

Température.

	Savatan					
	7 h. m. °	1 h. s. °	9 h. s. °	Moyenne °	Minim. moyen °	Maxim. moyen °
1re décade ...	+ 6.10	+10 62	+ 7.68	+ 8.13	+ 3.8	+12.1
2me » ...	7.04	13.28	10.88	10.40	5.6	15.2
3me » ...	9.52	15.42	12.64	12.53	7.4	18.3
Mois..	+ 7.55	+13.11	+10 40	+10.35	+ 5.6	+15.2
	Dailly					
1re décade ...	+ 4.28	+ 8.06	+ 4.76	+ 5.70	+ 2.2	+ 9.3
2me » ...	5.81	10.70	7.79	8.10	4.1	12.0
3me » ...	7 30	11.56	8 99	9.28	5.9	13.1
Mois..	+ 5.80	+10.11	+ 7.18	+ 7.69	+ 4.1	+11.5

Fraction de saturation en %

	Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
1re décade ...	76	62	75	71	52	45	51	49
2me » ...	64	47	45	52	38	27	24	30
3me » ...	63	51	56	57	29	27	34	30
Mois..	68	54	58	60	40	32	36	36

Nébulosité.

	Lavey				Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
1re décade ...	6.3	5 6	6.5	6.2	6.8	6.6	6.2	6.6	6.5	7.0	7.3	6.9
2me » ...	4.8	4.9	1.8	3 8	5.0	4.2	2.6	4.0	4 4	4 7	1.8	3.6
3me » ...	3.9	4.9	3.9	4.3	5.3	3.8	3.8	3.5	3.9	5.1	3.3	4.1
Mois..	5 0	5.1	4.1	4.8	5.0	4.8	4.2	4 7	4.9	5.6	4.1	4.9

MOIS D'AVRIL 1914

Jours du mois	Baromètre Hauteur moyenne		Thermomètre Température moyenne		Hygromèt. Fraction de saturation moyenne		Nébulosité moyenne			Pluie et Neige (hauteur mesurée)							
										Lavey		Savatan		Dailly		Aiguille	
	Savatan	Dailly	Savatan	Dailly	Savatan	Dailly	Lavey	Savatan	Dailly	Pluie	Neige	Pluie	Neige	Pluie	Neige	Pluie	Neige
	mm.	mm.	o	o	%	%				mm.	cm.	mm.	cm.	mm.	cm.	mm.	cm.
1	709.7	662.9	+11.3	+ 9.8	45	16	0	2	1	....	....	....	....	....	....	....	....
2	703.8	657.9	11.5	9.6	49	18	2	2	4	....	....	....	....	....	....	....	....
3	701.4	655.4	8.9	7.3	84	64	10	10	10	13.2	....	14.8	....	17.4	....	17.2	....
4	705.0	657.9	6.1	3.8	**94**	68	9	10	10	9.1	....	9.5	....	6.7	**2**	7.2	3
5	705.8	659.1	5.7	2.4	83	80	8	6	7	1.3	....	1.4	....	1.5	....	1.6	....
6	701.3	655.4	7.9	5.5	74	55	9	10	10	5.6	....	3.0	....	3.1	....	3.0	....
7	**697.1**	652.0	8.8	6.0	86	67	9	10	10	**24.5**	....	**27.2**	....	**23.3**	**2**	**24.5**	**4**
8	697.5	**651.7**	**5.3**	**1.7**	80	57	9	7	9	2.7	....	1.6	....	1.9	1	2.2	1
9	704.0	656.8	5.9	2.6	73	51	5	5	5	....	....	....	....	0.1	....	0.2	....
10	705.7	659.7	9.9	8.3	42	16	1	4	2	....	....	....	....	....	....	....	....
11	704.8	659.6	12.5	10.0	39	**12**	4	4	3	....	....	....	....	....	....	....	....
12	708.7	661.9	12.6	12.6	45	13	9	7	2	....	....	....	....	....	....	....	....
13	707.5	661.7	14.5	**13.8**	51	**12**	8	3	7	....	....	....	....	....	....	....	....
14	705.6	660.2	15.1	13.4	49	13	7	10	10	6.0	....	7.2	....	4.8	....	4.9	....
15	706.8	659.4	7.1	3.0	70	**83**	5	7	7	0.2	....	....	....	0.2	....	0.1	....
16	705.1	657.7	7.1	4.5	47	25	0	0	0	....	....	....	....	....	....	....	....
17	704.3	658.0	7.1	4.4	65	52	0	0	0	....	....	....	....	....	....	....	....
18	704.6	658.0	7.5	5.6	63	39	2	3	3	....	....	....	....	....	....	....	....
19	705.2	658.6	8.9	6.6	60	29	2	4	2	....	....	....	....	....	....	....	....
20	709.7	662.4	11.7	7.0	**32**	18	1	2	2	....	....	....	....	....	....	....	....
21	**711.8**	**665.4**	11.6	8.1	44	16	3	0	3	....	....	....	....	....	....	....	....
22	711.0	665.3	13.6	11.7	46	13	3	4	2	....	....	....	....	....	....	....	....
23	711.3	665.2	**15.5**	11.5	43	15	4	3	4	....	....	....	....	....	....	....	....
24	710.0	663.0	12.4	8.7	54	21	8	4	8	....	....	....	....	....	....	....	....
25	707.2	660.0	8.5	5.4	73	68	9	10	10	....	....	....	....	0.2	....	0.3	....
26	707.6	660.9	11.6	6.9	66	49	3	1	2	....	....	....	....	....	....	....	....
27	710.6	663.9	11.5	9.0	65	30	1	0	1	....	....	....	....	....	....	....	....
28	708.3	661.7	13.4	11.0	55	21	2	1	1	....	....	....	....	....	....	....	....
29	705.8	659.6	**15.5**	11.4	42	18	2	4	2	....	....	....	....	....	....	....	....
30	703.4	656.4	+11.6	+ 0.2	79	49	8	8	8	8.4	....	9.6	....	12.6	....	12.9	....
Mois	706.02	659.59	+10.35	+ 7.69	60	36	4.8	4.7	4.9	71.0	....	74.3	....	71.8	5	74.1	8

MOIS DE MAI 1914

Jours du mois	Baromètre Hauteur moyenne		Thermomètre Température moyenne		Hygromèt. Fraction de saturation moyenne		Nébulosité moyenne			Pluie et Neige (hauteur mesurée)							
										Lavey		Savatan		Dailly		Aiguille	
	Savatan	Dailly	Savatan	Dailly	Savatan	Dailly	Lavey	Savatan	Dailly	Pluie	Neige	Pluie	Neige	Pluie	Neige	Pluie	Neige
	mm.	mm.	o	o	%	%				mm.	cm.	mm.	cm.	mm.	cm.	mm.	cm.
1	704.0	656.9	+ 7.5	+ 4.7	97	100	10	10	10	4.5	....	5.0	....	6.1	....	5.8	....
2	707.7	660.3	7.3	4.6	97	97	10	10	10	....	....	0.5	....	....	....	....	....
3	709.7	661.4	9.8	9.1	89	33	7	10	9	3.0	....	3 0	....	1.8	....	1.9	....
4	709.7	662.9	13.3	10.0	71	45	8	7	8	16.5	....	13.4	....	13.7	....	13.9	....
5	704.6	657.7	10.7	7.8	80	63	8	8	9	13.5	....	10.3	....	11.6	....	11.5	...
6	702.1	655.5	8.8	5 8	70	43	6	7	7	1.0	....	1 1	....	0.9	....	1.0	....
7	701.6	655.8	9.7	7 0	78	56	9	9	9	....	....	0.2	....	0.4	....	0.6	....
8	700.6	655.1	11.1	8 1	79	54	8	8	8	12.2	....	12.9	....	15.4	....	15.7	....
9	701.0	654.1	4.9	1.9	100	100	10	10	10	**47.6**	....	**43.5**	**3**	**62.4**	**33**	**62.7**	**35**
10	704.8	656.5	**2.7**	**0.1**	89	92	10	10	10	1.2	....	1.8	....	5.1	4	5.6	5
11	706.4	659.6	6.7	3.6	85	82	6	7	10	....	....	....	....	0 1	....	0.2	....
12	705.8	658.8	6.5	3.3	94	84	10	10	10	14.7	....	15.0	....	16.5	....	16.2	....
13	707.2	660.1	8.0	4.1	59	49	1	4	6	....	....	0 1	....	....	....	....	....
14	707.3	660.0	9 5	5.4	59	34	3	8	6	...	....	....	....	0.2	...	0.1	....
15	705.2	658.4	8.9	5.4	68	42	6	5	5	4.7	....	2.8	...	2.1	....	2.4	...
16	703.0	656.2	7.1	5.0	66	48	6	6	6	...	...	....	...	....	....	....	....
17	705.1	657.9	9.1	5.9	76	74	5	6	5	0.4	...	0.1	....	0.2	....	0.3	....
18	705.6	659.5	11.1	7.6	71	67	3	4	4	....	....	....	....	....	....	....	....
19	707.0	661 1	13.8	10.3	65	49	1	3	2	....	....	....	...	....	....	....	....
20	708.9	662.3	16.9	13.4	45	30	1	1	1	....	...	....	....	....	....	....	....
21	**710.0**	664.2	17.9	14.7	52	26	0	0	0	....	...	....	....	....	....	....	....
22	709.9	**664.9**	**20.1**	**16.6**	**44**	**19**	0	0	1	....	...	....	....	....	....	....	....
23	706.7	661.8	18.6	15.0	49	20	5	5	5	4.2	....	4.6	....	6.1	....	9.7	....
24	702.9	657.1	10.8	7.9	100	99	10	10	10	14.2	....	15 5	....	21.7	....	22.4	....
25	699.0	654.0	11.4	7.4	82	84	9	9	10	1.1	....	2.2	....	2.9	....	2.5	....
26	**697.5**	**651.8**	7.4	4.1	96	100	10	10	10	0.6	....	1.6	....	2.9	....	3.2	....
27	700.6	653.1	6.1	2.5	97	100	10	10	10	4.2	....	5.5	....	7.4	....	6.5	....
28	704.0	656.8	6.7	2.7	90	99	10	10	10	0 5	....	0.8	....	2.8	....	3.1	1
29	702.7	656.5	6.4	2.1	85	98	10	10	10	1.7	....	2.4	....	2.8	....	2.7	..
30	703.0	657.1	10.2	6.5	63	57	7	6	8	....	....	....	...	0.5	....	0.7	....
31	703.6	657.2	+11.3	+ 7.6	73	58	7	9	9	....	....	....	....	....	....	....	....
Mois	704.75	658.21	+10.01	+ 6 79	76	65	6 7	7 2	7.3	145.8	....	142.3	3	183.6	37	188.7	41

MOYENNES DU MOIS DE MAI 1914

Pression atmosphérique

	Savatan				Dailly			
	7 h. m. mm.	1 h. s. mm.	9 h. s. mm.	Moyenne mm.	7 h. m. mm.	1 h. s. mm.	9 h. s. mm.	Moyenne mm.
1re décade ...	704.63	704 38	704.70	704.57	657.80	657.56	657.50	657.62
2me » ...	706.19	705.81	706 47	706.16	659.14	659.33	659.70	659.39
3me » ...	703.74	703.52	703.66	703.64	657.77	657.59	657.66	657.67
Mois..	704.82	704.53	704 90	704.75	658.21	658.14	658 27	658.21

Température

	Savatan					
	7 h. m. °	1 h. s. °	9 h. s. °	Moyenne °	Minim. moyen °	Maxim. moyen °
1re décade ...	+ 7.12	+10.32	+ 8.30	+ 8.58	+ 5.0	+12.3
2me » ...	7.14	12 18	9.94	9.75	5.3	14.9
3me » ...	9 55	13.65	11.42	11.54	7 5	14.7
Mois..	+ 7.99	+12.10	+ 9.94	+10.01	+ 6 0	+14.0
	Dailly					
1re décade ...	+ 5.06	+ 7.85	+ 4.85	+ 5.92	+ 2.8	+ 9.5
2me » ...	4.16	8.81	6.24	6.40	2.8	10.3
3me » ..	7.14	9.31	7.32	7.92	5 4	10.8
Mois..	+ 5.51	+ 8.70	+ 6.17	+ 6.79	+ 3.7	+10 2

Fraction de saturation en %

	Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
1re décade ..	96	79	80	85	73	60	71	68
2me » ...	81	59	67	69	69	48	50	56
3me » ...	83	70	74	76	72	66	69	69
Mois..	86	69	73	76	71	59	64	65

Nébulosité

	Lavey				Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
1re décade ...	9 1	7.3	9 3	8.6	8.9	8 5	9.4	8.9	9.0	8.4	9.2	9.0
2me » ...	4.8	4.6	3.5	4.3	5.1	6.7	4.3	5.4	4 8	5.7	5.9	5.5
3me » ...	6 7	6.8	7.8	7.1	7.2	7.4	7.1	7.2	7.1	7.6	7.8	7.5
Mois..	6.9	6.3	6.9	6 7	7.1	7.5	6.9	7.2	7.0	7.3	7.6	7.3

COMPTE RENDU DES SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ DE PHYSIQUE ET D'HISTOIRE NATURELLE

DE GENÈVE

Séance du 21 janvier 1915.

Aug. de Candolle. Rapport sur l'activité de la Société pendant l'année 1914.

M. Aug. de Candolle, président sortant de charge, donne lecture de son rapport sur l'activité de la Société pendant l'année 1914. Ce rapport contient les biographies de MM. A. Lieben et A. Lang, membres honoraires, W. Barbey et G. Cellérier, membres ordinaires, décédés pendant l'année. Il rapelle en outre la mémoire de M. Ed. Des Gouttes, associé libre.

Séance du 4 février.

Raoul Pictet. Expériences sur les nouveaux procédés destinés à obtenir de l'azote chimiquement pur de l'air atmosphérique, ainsi que du gaz à l'eau par un procédé continu utilisant l'oxygène et la vapeur d'eau se transformant à l'aide du charbon incandescent. — Ed. Claparède. Etat hypnoïde chez quelques animaux.

M. Raoul Pictet. — *Expériences sur les nouveaux procédés destinés à obtenir de l'azote chimiquement pur de l'air atmosphérique, ainsi que du gaz à l'eau par un procédé continu utilisant l'oxygène et la vapeur d'eau se transformant à l'aide du charbon incandescent.*

Je remets avec ces lignes un volume relatant toute la partie théorique de ces nouveaux procédés. Je ne rappellerai ici que les ex-

périences de démonstrations qui ont été faites dans les mois d'octobre, novembre et décembre 1914 à Walsall dans notre usine de la Société O. H. N. Gases Limited :

L'air purifié est envoyé dans un filtre de grande dimension où il est refroidi à —25° environ par un serpentin à 15 branches rempli de SO^2 liquide. Une pompe aspire constamment les vapeurs et maintient une surface de 35 mètres carrés à —35° environ.

L'air atmosphérique refroidi passe au travers d'une étoffe pour y déposer les fins cristaux de neige formés.

Après ce filtre, l'air s'engage dans un grand tube métallique de 600 mm. de diamètre et de 6 m. 50 de longueur dont la surface extérieure est maintenue à —60° par SO^2 bouillant sous une pression absolue de 10 à 15 millimètres de mercure. Dans ce tube, l'air perd les dernières traces de vapeur d'eau et sort *froid* et *sec*.

C'est à cette place que l'air atmosphérique pénètre dans un échangeur enveloppant la colonne de *séparation* et continue sa route ainsi en contre-courant avec les gaz qui sortent de la colonne.

L'air entre entre le 7e et 8e plateau de la colonne. Il est forcé de monter au travers de 12 plateaux à calettes, constamment inondés de liquide tombant sur le plateau supérieur.

Ce liquide est formé par la liquéfaction totale des vapeurs qui sortent du fond de la colonne et sont aspirées et comprimées par deux compresseurs agissant comme quatre compresseurs à simple effet.

Chacun de ces *demi-compresseurs* comprime les gaz qu'il aspire à une pression différente.

Le premier comprime les gaz à 3.7 atm.; le second à 2.4 atm.; le troisième à 1.6 atm.; le quatrième à 0.7 atm.

Ces 4 compresseurs envoient 250 mètres cubes ensemble dans les 4 serpentins séparés, courant du bas en haut de la colonne.

En prenant les diagrammes de ces quatre compressions, on trouve les résultats suivants :

1e compresseur	75 mètres cubes	à 3.7 atm.	=	6.2	chevaux.
2e »	75 »	» à 2.4 »	=	4.1	»
3e »	50 »	» à 1.6 »	=	2.1	»
4e »	50 »	» à 0.7 »	=	1.7	»
	250 mètres cubes			14.1	chevaux.

Outre cette dépense de 14.1 chevaux, nous avons eu 1.7 cheval pour la ventilation.

L'azote liquide nécessaire pour maintenir le régime de températures se monte à 25 litres d'azote liquide par heure.

Nous obtenons avec le moteur à air froid actionné par 500 mètres cubes d'azote pur comprimés à 60 atm., une quantité de 115 litres d'azote liquide par heure.

En plus, nons avons une puissance de 9 à 10 chevaux que nous constatons par le fonctionnement d'une pompe centrifuge alimentant une puissante fontaine.

Nous envoyons dans la colonne 400 mètres cubes d'air dont 150 mètres cubes à 3.7 atm. et à 2.4 atm. et 250 mètres cubes par le ventilateur.

Nous récoltons 335 mètres cubes d'azote chimiquement pur, provenant des 400 mètres cubes d'air, plus les 25 litres d'azote liquide ajoutée par heure.

Nous mettons dans le gazomètre 84 mètres cubes d'oxygène à 99 % de pureté environ.

Ainsi nous obtenons avec une dépense de

14.1	chevaux	sur les compresseurs.
1.7	»	sur la ventilation.
25.0	»	pour l'obtention de 25 litres d'azote.
40.8	chevaux	consommés.

Nous en retranchons 9.5 chevaux obtenus par le moteur à azote froid. Il reste 40.8 — 9.5 = 31.3 chevaux à fournir.

Avec cette puissance nous obtenons :

84 mètres cubes d'oxygène 99 % et
335 mètres cubes d'azote chimiquement pur.

Ainsi 1 cheval nous donne simultanément :

1° 2.7 mètres cubes d'oxygène.
2° 10.7 mètres cubes d'azote.

Outre ces gaz que l'on emmagasine dans des gazomètres, nous avons utilisé l'oxygène pour obtenir par un système continu du *gaz à l'eau* selon le procédé décrit dans notre publication.

Nous avons vu qu'un mélange d'air et d'oxygène nous permettent de fonctionner couramment à raison de 14 mètres cubes de gaz à l'eau par mètre cube d'oxygène sorti du gazomètre.

Chaque kilogramme de coke employé dans cette fabrication nous a donné en gaz 3200 mètres cubes dont la chaleur de combustion est de *3250 calories.*

Dont chaque kilogramme de coke transformé en gaz produit par sa combustion *7250 calories* utilisables.

La force motrice obtenue par ce gaz est très économique et peut rivaliser avec la plupart des puissances hydrauliques ordinaires.

Une seconde installation est en voie de construction à l'usine de Walsall et entrera en fonction d'ici deux à trois mois, dotée de tous les perfectionnements dictés par les expériences précédentes.

M. Ed. Claparède. — *Etat hypnoïde chez quelques animaux.*

Il y a quatre ans [1], je vous avais parlé de l'état hypnoïde que j'avais obtenu chez un singe Cynocéphale. Je voudrais vous faire part aujourd'hui de quelques expériences du même genre, faites chez des porcs et chez des chèvres.

Me trouvant mobilisé au mois d'août dernier, et cantonné à la montagne dans un chalet de bergers, j'ai essayé d'endormir les cochons et les chèvres qui se trouvaient là. Ayant avisé un cochon, je lui administrai des frictions (avec un morceau de bois ou un bâton, car ces animaux étaient très sales et je préférais si possible ne pas les toucher avec la main), frictions dirigées toujours dans le même sens, sur le flanc, en partant du cou et en descendant jusque vers la cuisse. A mon grand étonnement, je vis le cochon (qui était debout au début de l'expérience) se mettre peu à peu à chanceler sur ces jambes de derrière, et son corps s'incliner du côté opposé à la friction. Au bout d'une demi-minute il tombait par terre, sur le flanc; je lui fermais les paupières; il garda les yeux clos et ne s'éveilla qu'au bout de 3 ou 4 minutes, paraissant désorienté et comme sortant d'un profond sommeil.

L'expérience répétée sur d'autres invidus (il y avait cinq cochons dans cette étable) réussit toujours, et à peu près de la même façon. Souvent le cochon, une fois éveillé, se redressait sur ses pattes, mais ne bougeait pas, comme s'il dormait encore debout. Le temps mis à plonger les cochons dans cet état, que j'appelle « hypnoïde » pour ne pas préjuger sa nature exacte, a varié de 20 à 60 sec. Parfois l'expérience n'a pas réussi; c'était le cas lorsque je cherchais à endormir les cochons pendant qu'ils étaient devant la porte de la cuisine à attendre leur repas, et que leur attention semblait uniquement fixée sur cette délicieuse perspective.

Une fois, tandis que je commençais mes frictions sur l'un des cochons, un autre, qui se trouvait dans le voisinage immédiat de cette opération, et qui fréquemment déjà avait été plongé dans l'état hypnoïde, tomba endormi spontanément, ce qui peut s'expliquer par une association acquise entre cet état hypnoïde et la vue de ma personne (ce que Pawloff appelerait un « réflexe conditionnel »). — Ajoutons que, au dire du berger, ces animaux étaient âgés d'un à deux ans.

Sur les chèvres (7 individus, jeunes et adultes), l'expérience a constamment réussi. J'ai employé un procédé légèrement différent du précédent : je couchais la chèvre sur le côté et lui faisais des passes (caresses très légères) sur le flanc avec ma main droite, en

[1] Etat hypnoïde chez un singe. Séance du 6 juillet 1911; *Archives*, août 1911, p. 151.

lui tenant les paupières fermées avec la main gauche. Pendant les premières dix secondes, la chèvre se débat, cherche à se relever; il faut alors lui maintenir les jambes, ce que je faisais soit en demandant le secours d'un aide, soit en plaçant l'un de mes genoux sur son arrière-train. Au bout de 10 à 15 secondes, on sent que la résistance cesse, et si on enlève doucement ses mains au bout de 20 secondes, on constate que la chèvre reste parfaitement immobile, et cela pendant plusieurs minutes. Les circonstances dans lesquelles j'expérimentais (au milieu du va-et-vient des soldats) m'ont empêché de déterminer pendant combien de temps aurait duré le sommeil si aucun bruit quelconque n'était survenu. Une fois, l'une des chèvres est resté endormie 15 minutes.

La phase du réveil est tout à fait analogue à celle décrite pour le cochon : la chèvre parait ne plus savoir où elle se trouve, reste longtemps à demi-couchée, et une fois debout, semble encore somnolente ou désorientée.

Pendant l'état hypnoïde, des excitations tactiles (chocs avec des bâtons, piqûres d'épingle), n'ont le plus souvent pas provoqué le réveil. Ce sont plutôt les bruits extérieurs qui semblent avoir provoqué celui-ci.

La catalepsie, qui était si remarquable dans le cas du singe, n'a pas pu être observée. Soit les cochons, soit les chèvres, il est vrai, gardaient en l'air la patte que je soulevais de terre, lorsque ces animaux étaient étendus sur le flanc. Mais je ne puis dire s'il s'agit là de catalepsie réelle, ou d'un simple équilibre articulaire.

Je n'ai fait sur une vache qu'un seul essai, en la couchant aussi sur le flanc, et en la traitant comme les chèvres, mais sans succès.

Ces observations sont encore bien frustes. Mais, comme les ouvrages traitant l'hypnose chez les animaux ne mentionnent pas qu'un état hypnoïde ait été obtenu chez des cochons et des chèvres [1], j'ai pensé intéressant de communiquer ces faits, en attendant de pouvoir étudier la nature du phénomène. J'ajouterai que le cas de la chèvre ressemble beaucoup à celui du lapin. Dès longtemps j'ai obtenu un état hypnoïde chez le lapin, simplement en le maintenant étendu sur le flanc pendant une vingtaine de secondes, temps qui suffit à vaincre ses réactions de défense. Le sommeil ainsi produit dure de quelques secondes à 4 ou 5 minutes.

[1]) Ochorowitcz, article *Hypnotisme* du Diction. Richet (1909, p. 767) dit, il est vrai, qu'on a réussi à provoquer l'hypnose chez une série de mammifères (cochon, mouton, chameau, éléphant, lion, etc.); mais il ne fournit aucune indication bibliographique.

BULLETIN SCIENTIFIQUE

PHYSIQUE

O. Lummer. Verflüssigung der Kohle und Herstellung der Sonnentemperatur, *Sammlung Vieweg*, Tagesfragen aus den gebieten der Naturwissenschaften und der Technik, Heft 9-10, Fr. Vieweg und Sohn, Braunschweig 1914.

L'ouvrage publié par le Dr O. Lummer sur la fusion du carbone et l'obtention de la température du soleil mérite de retenir l'attention des physiciens et des techniciens ; le nom bien connu de son auteur ajoute à l'intérêt de cette publication.

Après avoir rappelé dans un court aperçu historique les tentatives faites en vue d'arriver à la fusion du carbone, l'auteur résume les résultats des principales recherches effectués en vue de déterminer la relation qui existe entre la température de l'arc et les conditions de son fonctionnement. Cet étude conduit tout naturellement à celle des procédés photométriques qui permettent la détermination exacte des hautes températures ; on sait la contribution effective que les travaux personnels de M. Lummer ont apportée à cette application particulièrement importante des procédés photométriques. Les deux derniers chapitres constituent le corps même de l'ouvrage ; le premier traite de la fusion du carbone qui paraît avoir été observée pour la première fois en faisant fonctionner l'arc entre charbons sous pression réduite ; c'est l'étude des diverses conditions dans lesquelles la fusion du carbone se produirait dans l'arc qui fait l'objet des § 18 à 28 du plus haut intérêt. Enfin le dernier chapitre résume les expériences effectuées par l'auteur avec l'arc sous pression, expériences qui auraient permis de réaliser des températures voisines de celle que l'on attribue au soleil soit 6000° environ.

Les expériences ont été poussées jusqu'à des pressions de 20 à 25 atmosphères. Il serait trop long de résumer ici, même sommairement, les importants résultats obtenus dans les recherches de M. Lummer ; mais on comprendra aisément tout l'intérêt que présenterait soit au point de vue des recherches scientifiques soit à celui des applications, la réalisation relativement facile de températures aussi élevées.

L'arc sous pression serait destiné à étendre vers les hautes tempé-

ratures le domaine des recherches physico-chimiques, comme l'apparition des gaz liquéfiés a permis l'étude des propriétés physiques des corps aux températures très basses. L'astronomie physique ne manquera pas de profiter aussi des recherches expérimentales qui pourront être faites aux très hautes températures de l'arc sous pression. A tout point de vue l'ouvrage que vient de publier M. le Dr Lummer est assuré d'un succès mérité.

GÉOGRAPHIE

Dr O. Fuhrmann et Dr Eug. Mayor. Voyage d'exploration scientifique en Colombie. Vol. V des *Mém. de la Soc. neuchâteloise des sciences naturelles*, avec 732 fig., 34 pl. hors texte et 2 cartes. 1914.

Les travaux relatifs au voyage d'exploration de MM. Fuhrmann et Mayor en Colombie remplissent un volume in-4° fort de près de 1100 pages et richement illustré. Dans la première partie de cet ouvrage les deux explorateurs, faisant le récit de leur voyage, dépeignent les contrées parcourues sous tous leurs aspects. Bien qu'essentiellement géographique, ce chapitre fait une large part aux observations sur la faune et la flore du pays, en donnant des listes des espèces nouvelles végétales et animales trouvées dans les différentes stations, ainsi que des tableaux graphiques relatifs à la répartition verticale des principaux types de la faune et de la flore. Les auteurs s'étendent également sur des phénomènes géologiques ; la découverte faite par eux de polis glaciaires à 3501 et 3309 m. sur le versant oriental des Cordillères prouve que sur ce versant les glaciers sont descendus beaucoup plus bas que sur le versant opposé, et corrobore ainsi les observations faites par les géologues en Bolivie. Deux cartes et un grand nombre de reproductions photographiques complètent le tableau si vivant que font les deux auteurs des régions visitées. Quel que soit leur but spécial, les futurs explorateurs de la Colombie trouveront dans ce récit de voyage à la fois un précieux guide pratique et une base générale pour leurs recherches scientifiques.

La seconde partie de cette publication, de beaucoup la plus volumineuse, renferme 31 études spéciales sur différents groupes d'animaux et de plantes, études plus ou moins importantes suivant le développement des groupes dans la faune colombienne et l'attention que leur ont porté les voyageurs. Parmi les mémoires zoologiques, signalons d'abord l'étude anatomique du *Thyphlo-*

nectes par le Dr Fuhrmann; elle montre que l'organisation de ces Apodes, et leur système respiratoire en particulier, correspondent à une vie exclusivement aquatique. Deux groupes d'Invertébrés, les Limaces et les Diplopodes, étaient si richement représentés dans les collections de MM. Fuhrmann et Mayor qu'ils ont permis à leurs auteurs des révisions systématiques partielles et des considérations faunistiques d'un intérêt général. La répartition des Diplopodes en particulier jette une lumière très vive sur le rôle des facteurs géogènes dans le développement de la faune néotropicale. La récolte en Planaires terrestres a relevé une richesse inattendue de ce groupe dans les Andes colombiennes; aux 3 espèces déjà connues de cette région viennent s'ajouter 22 espèces nouvelles. L'étude d'autres matériaux encore a enrichi la science de nombreuses formes nouvelles et a permis d'affirmer tantôt le cosmopolitisme d'une unité, tantôt le caractère hautement endémique de la faune sud-américaine. La faune des mousses, encore peu connue dans les pays tropicaux, fait l'objet d'une étude spéciale du plus haut intérêt.

Les contributions à la flore, pour être moins nombreuses que les études zoologiques, ne sont pas moins remarquables. Les Phanérogames, Ptéridophytes, Champignons, Lichens, Mousses et Algues d'eau douce ont été soumises à de nombreux spécialistes. L'étude sur les Urédinées, dans laquelle s'est spécialisé M. Mayor, ne concerne pas moins de 152 espèces de ces champignons parasites, la plupart nouvelles; elle comble une grande lacune dans la connaissance des Rouilles de l'Amérique du Sud.

Le bilan général des récoltes zoologiques et botaniques faites par nos deux compatriotes au cours de leur voyage accuse les chiffres remarquables de 160 espèces végétales et 185 espèces animales nouvelles pour la science.

La géographie de la Colombie trouve une seconde fois son compte dans les deux dernières études contenues dans ce volume, dont l'une se rapporte aux mesures hypsométriques faites par M. Fuhrmann et l'autre aux poteries anciennes de la Colombie. Dans cette dernière, qui est accompagnée de planches très réussies, M. Th. Delachaux discute l'authenticité des objets et donne d'intéressants renseignements concernant la matière première, le façonnage, la source d'inspiration et l'ornementation de ces poteries. J. C.

LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

des Travaux de Chimie faits en Suisse

1914

Septembre

233. Buergi (E.) und Traczewski (C. F. v.). Ueber die Wirkung von Organextrakten auf das Herz. Bern. Pharmakol. Inst. der Univ. — *Biochem. Zeitschr.* **66.** 417.

234. Burkhardt (Hans). Sur la synthèse du nitrile quinaldinique. *Thèse.* Genève (Dr Kaufmann).

235. Burmann (James). Influence des conditions atmosphériques sur l'évolution du principe actif de la digitale. Aigle. — *J. suisse de pharm.* **52.** 527.

236. Burri (R.). Der Fettgehalt des Schweizer Emmentalerkäses. Liebefeld-Bern. Schweiz. milchwirtschaftl. Anstalt. — *Schweiz. Milch-Zeitung* **40.** Nr. 70.

237. Grinberg (Rebecca). Recherches synthétiques dans la série de l'indène. *Thèse.* Genève (Dr Orechoff).

238. Häussler (E. P.). Die Methoden zur quantitativen Bestimmung der Weinsäure in Lebensmitteln (speziell in Weinen). Freiburg. — *Schweiz. Apotheker-Zeitung* **52.** 525. 537. 553. 569.

239. Häussler (E. P.). Beiträge zur quantitativen Bestimmung der Schalen im Kakao und in der Schokolade. Freiburg. — *Archiv der Pharm.* **252.** 424.

240. Hof (Karl). Untersuchung über die Spektren von Kohlenoxyd und Kohlensäure. Basel. Physik. Anstalt der Univ. — *Zeitschr. wissenschaftl. Photogr.* **14.** 69.

241. Rosenbohm (Ernst). Ueber die Wärmeentwicklung bei der Quellung von Kolloiden. Zürich. — *Kolloidchem. Beihefte* **6.** 177.

242. Suleiman (Hassan Hussein). Sur les propriétés d'insolubilisation de la silice et sa solubilité dans les acides. *Thèse.* Genève (Prof. Duparc).

243. Thüringer (Victor). Sur deux nouvelles méthodes de dosage et de séparation du palladium et sur une modification de la méthode d'analyse du minerai de platine. *Thèse*. Genève (Wunder).

244. Wiegner (Georg). Ueber die Aenderung einiger physikalischer Eigenschaften der Kuhmilch mit der Zerteilung ihrer dispersen Phasen. Göttingen, Univ.-Lab. für Chemie der Milch und Zürich, Agrik.-chem. Lab. der Univ. — *Zeitschr. Kolloide* **15.** 105.

Octobre

245. Berthoud (A.). Démonstration par la méthode statistique de la loi de Maxwell généralisée. Neuchâtel. Lab. de ch. phys. de l'Univ. — *J. ch. phys.* **12.** 564.

246. Briner (E.). Recherches sur le mécanisme de l'action chimique des décharges électriques. Genève. Lab. de ch. techn. et théor. de l'Univ. — *J. ch. phys.* **12.** 526.

247. Briner (E.) et Kahn (J.). Formation de l'ammoniac. Genève. Lab. de ch. techn. et théor. de l'Univ. — *J. ch. phys.* **12.** 534.

248. Maron (D.) und Fox (Charles). Ueber den Einfluss der CO-Gruppe auf die Beweglichkeit der Chlor-Atome in 4-Chlor-3-nitro-benzophenon. Genf. Organ. Lab. der Univ. — *Berichte* **47.** 2774.

249. Mooser (W.). Die Bedeutung der Hefe als Nähr- und Heilmittel. Bern. — *Schweiz. Apotheker-Zeitung* **52.** 609. 625.

250. Thöni (J.) und Thaysen (A. C.). Versuche zur Herstellung von spezifisch wirkenden Getreideantiseris für den Nachweis von Mehlverfälschungen. Bern. Lab. des schweiz. Gesundheitsamtes. — *Mitt. Lebensmittelunters* **5.** 317.

251. Trier (G.). Die biologische Stellung des Aethyl- und Methylalkohols. Zürich. — *Naturwissenschaften* **2.** 927.

252. Werner (A.). Ueber Metallverbindungen mit komplex gebundener Oxalsäure. Ueber Dioxaloverbindungen. Zürich. Chem. Inst. der Univ. — *Annalen* **406.** 261.

253. Wiegner (Georg). Ueber die chemische oder physikalische Natur der kolloiden wasserhaltigen Tonerdesilicate. Zürich. — *Zeitschr. Kolloide* **15.** 167.

254. Willstätter (Richard) und Wheeler (Alvin S.) Ueber die Isomerie der Hydro-juglone. Zürich. Lab. der Univ. — *Berichte* **47.** 2796.

Novembre

255. Besson (A. A.) und Jungkunz (R.). Zur Untersuchung der Bodenwichse. Basel. — *Chem.-Zeitung* **38.** 1141. 1173. 1182.

256. Binder (Hans). Ueber das Harz von Picea vulgaris L. Bern. Pharm. Inst. der Univ. — *Archiv der Pharm.* **252.** 547.

257. Kehrmann (F.) und Bohn (Adolf). Ueber Oxonium-Basen, welche den Charakter von Alkalien besitzen. Lausanne. Organ. Lab. der Univ. — *Berichte* **47.** 3052.

258. Kehrmann (F.), Speitel (J.) und Grandmougin (E.). Ueber die Spektra der einfachsten Thiazin-Farbstoffe. Lausanne, Organ. Lab. der Univ. und Mülhausen, Lab. der Chemieschule. — *Berichte* **47.** 2976.

259. Kœstler (G.). Der Fettgehalt des Schweizer Emmentalerkäses. Bern. — *Milchwirtschaftl. Zentralblatt* **43.** 517.

260. Pfander (Werner Albert). Zur Kenntnis der elektrolytischen Abscheidungsformen des Silbers. *Dissert.* Bern (Prof. Kohlschütter).

261. Rosselet (Edmond). Versuche zur Synthese des v-Aceto-Brenzcatechins. *Dissert.* Bern (Prof. Tambor).

262. Rupe (H.) und Tomi (W.). Ueber höher molekulare optisch-aktive Kohlenwasserstoffe und Ketone aus Carvon. Basel. — *Berichte* **47.** 3064.

263. Stahrfoss (Knut). Densités des hydrocarbures gazeux et poids atomique du carbone. *Thèse.* Genève (Prof. Guye).

264. Tschirch (A.). Die Membran als Sitz chemischer Arbeit. Bern. Pharm. Inst. der Univ. — *Archiv der Pharm.* **252.** 537.

MESURES DU COURANT ELECTRIQUE

PASSANT DE L'ATMOSPHÈRE A LA TERRE

faites chaque jour à Altdorf et à Fribourg, entre 1 h. 30 et 2 h. du soir

FÉVRIER 1915

Date	Altdorf			Fribourg			Temps
	λ	P. G.	Cour[t]	λ	P. G.	Cour[t]	
1	111	163	60	159	99	53	—
2	112	178	66	182	124	75	Brumeux à Fribourg.
3	61	210	41	96	380	121	Beau.
4	115	110	42	106	514	181	Très beau.
5	104	170	59	112	360	134	—
6	94	211	66	—	> 570	—	—
7	196	86	56	—	216	—	—
8	103	104	36	—	-520 à 0	—	Neige et pluie à Frib.
9	437	49	71	185	377	233	Fœhn à Altdorf.
10	—	—	—	—	195	—	Pluie, neige.
11	121	142	57	39	607	99	Couvert.
12	178	103	61	168	326	182	—
13	412	197	270	134	178	79	Fœhn à Altdorf.
14	308	46	47	368	87	107	Vent sud-ouest fort.
15	252	63	53	287	133	157	Couvert.
16	164	80	44	125	115	48	—
17	179	76	45	185	143	88	Beau.
18	168	91	51	188	129	81	»
19	500	86	143	136	164	60	Fœhn à Altdorf.
20	602	43	86	—	134	—	» » , neige à Fribourg.
21	—	—	—	285	125	119	Pluvieux à Altdorf.
22	466	139	216	149	163	81	Fœhn à Altdorf.
23	273	197	277	—	175	—	Neige à Altdorf et Frib.
24	162	168	91	103	154	53	Couvert.
25	133	> 400	—	79	124	98	Neige à Altdorf, vent faible à Fribourg.
26	108	92	33	124	104	43	Assez beau.
27	114	93	35	—	247	—	Couvert.
28	115	80	31	—	175	—	»

Abréviations

λ = conductibilité par ions négatifs et positifs en unités électrostatiques $\times 10^6$

P. G. = gradient du potentiel en volts par mètre, réduit sur terrain plat

Courant vertical, en unités électrostatiques $\times 10^8$

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES A

L'OBSERVATOIRE DE GENÈVE

PENDANT LE MOIS

DE FÉVRIER 1915

Le 1, neige de 7 h. à 8 h. du matin, haut. 1 cm.
2, brouillard le matin.
4, gelée blanche le matin ; brouillard le soir.
5, brouillard et givre matin et soir.
6, brouillard et givre le matin ; pluie de midi à 2 h. et dans la nuit.
7, pluie dans la nuit.
8, pluie de 7 h. à 10 h. du matin ; pluie et neige dans la nuit.
9, neige de 7 h. du matin à 2 h. du soir ; brouillard à 10 h. du soir ; pluie et neige dans la nuit, haut. 6 cm.
10, neige de 7 h. du matin à midi et de 2 h. à 3 h. du soir, haut. 2 cm.
11, brouillard le matin ; neige de 3 h. à 6 h. du soir, haut. 1 cm.
13, pluie à 3 h. et à 8 h. du soir ; pluie dans la nuit.
14, pluie de 7 h. à 10 h. du matin ; à 4 h. et à 7 h. du soir et dans la nuit.
15, pluie à 4 h. du soir.
17, gelée blanche le matin.
18, pluie de 8 h. à 10 h. du soir ; pluie dans la nuit.
20, pluie et neige matin et soir.
21, pluie à 10 h. du soir.
22, gelée blanche le matin ; pluie et neige de 10 h. 30 du matin à 8 h. 30 du soir, haut. 3 cm.
les 25 et 26, très forte bise.
le 28, pluie à 9 h. du soir.

Hauteur totale de la neige : 13 cm. tombés en cinq jours.

GENÈVE — FÉVRIER 1915

Jour du mois	Température 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 8 Observ.	Ecart avec la normale	Min.	Max.	Fraction de Saturation en % 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 8 Obs.	Ecart av. la norm.	Min.	Max.	Tempér. du Rhône Midi	Ecart avec la normale	Limnimètre
	°	°	°	°	°	°	°								°	°	mm.
1	- 0.8	+ 2.0	+ 1.0	+ 0.60	+ 0.15	- 2.0	+ 3.4	96	82	85	83	- 1	70	97	4.7	- 0.1	1530
2	- 4.4	2.2	- 3.8	- 2.16	- 2.67	- 5.5	2.2	98	61	93	88	+ 4	58	99	4.5	- 0.3	1505
3	- 2.8	+ 4.2	- 1.2	- 0.51	- 1.09	- 5.5	6.0	94	57	92	83	- 1	54	98	5.0	+ 0.2	1515
4	- 6.0	- 0.3	- 1.0	- 2.60	- 3.25	- 7.3	+ 1.2	95	96	100	94	+10	82	100	5.0	+ 0.2	1485
5	- 5.0	- 1.5	- 3.0	**- 3.36**	- 4.08	- 6.8	- 0.8	100	98	100	**99**	**+15**	96	100	4.7	- 0.1	1505
6	- 4.8	- 0.8	+ 3.6	- 1.06	- 1.86	- 6.5	+ 5.0	98	98	83	90	+ 6	60	100	5.0	+ 0.2	1475
7	+ 5.0	+ 7.7	4.2	+ 5.14	**+ 4.27**	+ 2.0	8.3	70	62	80	73	-11	60	86	—	—	1485
8	4.6	5.3	2.8	4.39	+ 3.14	+ 1.7	6.4	78	83	90	83	0	70	92	5.2	+ 0.3	1450
9	0.8	1.4	1.1	1.35	+ 0.32	- 0.5	3.0	96	98	98	96	+13	91	98	5.0	+ 0.1	1470
10	+ 0.4	3.7	2.0	+ 1.62	+ 0.51	- 0.6	4.2	98	83	82	90	+ 7	80	98	4.8	- 0.1	1475
11	- 2.8	0.6	0.5	- 0.51	- 1.71	- 4.8	1.8	97	83	96	93	+10	81	100	4.7	- 0.2	1475
12	- 1.2	6.0	4.0	+ 2.06	+ 0.78	- 3.0	6.8	96	56	68	76	- 7	53	98	5.0	+ 0.1	1435
13	+ 3.2	9.4	4.9	5.34	+ 3.97	+ 2.0	9.6	70	48	71	67	-15	45	85	5.3	+ 0.4	1445
14	1.2	8.4	4.6	4.16	+ 2.70	0.4	8.4	100	55	66	82	0	51	100	—	—	1465
15	3.3	5.8	+ 3.3	3.82	+ 2.27	+ 1.8	7.0	78	62	71	76	- 6	59	88	5.3	+ 0.3	1465
16	+ 0.3	4.5	0.0	2.11	+ 0.47	- 1.8	5.3	74	47	75	66	-16	45	94	5.5	+ 0.5	1475
17	- 4.8	2.8	+ 1.8	0.29	- 1.45	- 5.5	5.2	92	52	71	74	- 8	42	94	5.0	0.0	1480
18	+ 3.0	10.8	7.3	**5.50**	+ 3.67	- 1.0	**10.8**	51	32	67	61	-20	**32**	92	5.0	- 0.1	1465
19	2.6	6.4	4.2	4.40	+ 2.47	+ 1.5	7.6	90	77	81	84	+ 3	70	94	5.3	+ 0.2	1470
20	2.7	1.1	1.5	2.14	+ 0.11	- 0.3	4.0	75	96	90	84	+ 3	70	97	5.0	- 0.1	1455
21	+ 2.0	8.0	2.9	3.94	+ 1.81	+ 0.8	8.0	84	47	75	72	- 9	44	86	—	—	1495
22	- 0.6	0.5	1.2	0.46	- 1.77	- 2.0	2.8	96	98	90	92	+11	64	98	5.0	- 0.2	1460
23	+ 1.4	3.4	+ 1.0	1.84	- 0.49	+ 0.3	4.4	76	73	81	78	- 2	70	90	4.8	- 0.4	1455
24	- 0.8	4.4	- 0.2	0.95	- 1.49	- 1.8	4.8	84	47	88	74	- 6	45	90	4.8	- 0.4	1425
25	- 2.2	2.5	+ 1.1	0.40	- 2.14	- 3.2	3.7	92	56	70	79	- 1	53	94	4.8	- 0.5	1435
26	- 0.5	1.8	- 1.0	+ 0.36	- 2.29	- 2.0	2.5	91	67	71	72	- 8	56	91	4.7	- 0.6	1410
27	- 5.3	0.1	- 0.1	- 2.21	**- 4.97**	**- 7.8**	1.8	82	61	70	74	- 5	58	88	4.8	- 0.5	1390
28	+ 1.8	+ 6.8	+ 5.5	+ 3.64	+ 0.77	- 2.0	+ 7.6	60	43	54	**58**	**-21**	36	80	—	—	1455
Mois	- 0.35	+ 3.83	+ 1.72	+ 1.50	- 0.10	- 2.12	+ 5.04	86	68	81	80	- 2			4.95	- 0.01	1464

GENÈVE — FÉVRIER 1915

Jour du mois	Pression atmosphérique 700mm + 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 8 Obs.	Ecart av. la norm.	Barographe Min.	Max.	Vent 7 h.	1 h.	9 h.	Dominant	Vit. moy. kil. h.	Nébulosité 7 h.	1 h.	9 h.	Moy. 6 obs.	Durée d'insolation	Pluie Hauteur 24 h.	Nombre d'heures
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm										h.	mm.	
1	26.0	28.0	30.9	27.85	+ 0.40	24.7	32.0	SE. 0	NNW. 1	NNE. 0	NNW. 1	2.3	10	9	8	9	0 0	0 3	1
2	32.7	32.7	33 5	32.88	+ 5.47	32.0	34.3	SW. 0	SW. 1	SE. 0	calme	0.4	10	9	0	6	2.3	....	....
3	34.2	33.8	32.1	33.61	+ 6.25	31.6	35.3	SSW. 1	S. 1	S. 1	calme	0.6	1	9	0	3	3.2	....	....
4	30.3	29.4	28.4	29.90	+ 2.59	28.4	31.6	SSW. 1	NNE. 1	SE. 1	SSE. 1	2.3	0	8	10	5	6.3	....	....
5	30.0	29.5	28.5	29.28	+ 2.02	27.8	30 2	SE. 1	SW. 1	SSE. 0	var.	2.1	10	9	10	10	0 0	....	....
6	25.5	25.0	26.9	25.90	- 1 31	24.2	27.8	SSE. 1	SE. 1	NE. 1	SSE. 1	2.3	10	10	8	8	0.0	1.6	3
7	28.0	29.6	29.7	28.78	+ 1.62	27.1	29.9	SSW. 1	SSW. 1	NNE. 1	SSW. 1	9.6	9	8	10	9	1.4	0.6	1
8	29.1	30.2	29.3	29.48	+ 2.37	28.0	30.2	SSW. 1	SSW. 2	SW. 0	SSW. 1	5.2	10	10	3	10	0.0	8.0	7
9	24.5	22.1	18.7	22.76	- 4.29	17.4	28.0	SE. 1	SW. 0	SSW. 1	calme	0.4	10	10	10	10	0.0	**19.2**	**13**
10	15.0	15.6	18.1	16 27	-10.73	14.7	19 0	SSW. 1	SE. 1	NNW. 1	SSW 1	2.9	10	10	10	9	0.0	6.8	6
11	19.3	18.5	17.1	18.42	- 8.52	16.6	19.6	S. 1	SSW. 1	SE. 1	SSW. 1	1.4	1	10	10	8	0.0	0.8	3
12	17.0	16 9	18.1	17.17	- 9.71	16.1	18.4	SE. 1	W. 1	E. 1	var.	2.9	9	1	5	7	5.0	....	....
13	16.8	15.5	15.4	16.34	-10.48	14.3	18.7	NNW. 0	SSW. 1	SW. 1	SSW. 1	4.6	2	9	10	8	0.0	17.8	10
14	14.6	14.0	15.8	14.78	-11.98	14.0	15.9	NNW. 1	SSW. 1	SSW. 2	SSW. 1	7.7	10	4	9	9	2.7	3.8	6
15	17.5	19.6	22.9	19.44	- 7.26	15.7	24.8	SSW. 2	SSW. 2	SW. 1	SSW. 1	12.7	9	9	9	9	2.4	0 8	1
16	28.4	30.7	32.7	29.66	+ 3.02	24.8	32.8	NE. 1	NNE. 1	SE. 0	NNE. 1	4.0	1	1	0	1	**8.9**	....	....
17	32.0	30.1	27.3	30.11	+ 3.53	26.1	32.7	SE. 1	NW. 1	SSW. 1	calme	0.9	0	0	5	3	8.3	....	....
18	24.1	21.5	19.5	22.25	- 4.27	19.0	26.1	SSE. 1	SSW. 1	SSW. 1	SSW. 1	4.4	9	9	10	9	2.2	11.1	7
19	16.8	14.8	12.1	15.10	-11.36	11.0	19.0	NE. 1	SE. 1	NW. 1	var.	4.0	9	9	2	7	0.4	0.2	1
20	4.8	4.2	7.6	**6.38**	**-20.01**	4.1	11.0	ENE. 1	SSW. 1	SW. 1	var.	3.1	9	10	10	10	0.0	8.8	8
21	11.6	12.2	13 2	11.88	-14.45	9.5	13.4	SSW. 1	SSW. 1	SE. 1	SSW. 1	5.2	8	1	10	7	6.2	11 2	10
22	7.1	3.1	6.6	6.53	-19.74	**2.8**	12.5	SSW. 1	NNE. 1	SW. 2	SSW. 1	2.5	9	10	10	10	0 0	....	....
23	12.4	15.2	19.6	14.68	-11.52	9.5	20.4	SSW. 1	W. 1	SW. 1	SSW. 1	8.8	9	9	10	9	1.9	....	....
24	21.9	23.6	25.8	23.18	- 2.96	20.4	26.7	W. 1	SW. 1	SE. 1	var.	3.1	6	2	9	5	4.7	....	....
25	28.0	28.6	31.4	28.84	+ 2.76	26.7	32.3	SE. 1	NNW. 1	NNE. 2	NNE. 1	9 6	9	2	9	7	5.2	....	....
26	33.6	33.9	35.2	**33.87**	+ 7.86	32.3	**35.5**	NNE. 2	NNE. 3	NNE. 1	NNE. 2	**24.3**	5	2	0	2	8.8	....	....
27	34.9	34.0	33 1	33.86	+ **7.91**	31.0	**35.5**	SE. 1	NNE 1	SSW. 1	calme	1.7	9	9	9	7	4.6	....	....
28	29.2	28.7	27.4	28.81	+ 2.92	26.4	31.0	NNW. 1	S. 1	SW. 1	SW. 1	6.9	9	9	10	9	1.1	0.2	1
Mois	23.06	22.88	23.44	23.14	- 3.70							4.85	7.3	7.1	7.4	7.4	75.6	91.2	78

MOYENNES DE GENÈVE. — FÉVRIER 1915

Correction pour réduire la pression atmosphérique de Genève à la pesanteur normale : | $0^{mm}.02$. — Cette correction n'est pas appliquée dans les tableaux.

Pression atmosphérique : 700^{mm} +

	1 h. m.	4 h. m.	7 h. m.	10 h. m.	1 h. s.	4 h. s.	7 h. s.	10 h. s.	Moyennes
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1re déc.	27.91	27.46	27.54	28.10	27 57	27.39	27.71	27.67	27.67
2e »	19.72	19.16	19.13	19.18	18.58	18.27	18 80	18.88	18.96
3e »	22.21	22 10	22.36	22.77	22.41	22.35	23.44	24.01	22.71
Mois	23.36	22.96	23.06	23 40	22.88	22.69	23 31	23.49	23.14

Température.

	°	°	°	°	°	°	°	°	°
1re déc	- 1.02	- 1.01	- 1.30	+ 0.31	+ 2.39	+ 2.29	+ 0.90	+ 0.16	+ 0.34
2e »	+ 1.81	+ 0.95	+ 0.75	2.81	5 58	4.96	3.75	2.84	2.93
3e »	- 0.24	- 0.72	- 0.52	1.51	3.44	3.01	1.86	1.04	1.17
Mois	+ 0.21	- 0.23	- 0 35	+ 1.55	+ 3.83	+ 3.45	+ 2.19	+ 1.37	+ 1.50

Fraction de saturation en %.

1re décade	91	89	92	91	82	78	90	90	88
2e »	82	86	82	75	61	67	77	80	76
3e »	82	85	83	68	62	68	75	76	75
Mois	86	87	86	78	68	71	81	83	80

Dans ce mois l'air a été calme 65 fois sur 1000.

Le rapport des vents $\frac{NNE}{SSW} = \frac{39}{76} = 0.51$

Moyennes des 3 observations (7^h, 1^h, 9^h)

		mm
Pression atmosphérique.....		723.13
Nébulosité		7.3
Température	$\frac{7+1+9}{3}$ ..	+ 1°.73
	$\frac{7+1+2\times9}{4}$ ..	+ 1°.73
Fraction de saturation.....		78 %

Valeurs normales du mois pour les éléments météorologiques, d'après Plantamour :

		mm
Press. atmosphér..	(1836-1875).	726.84
Nébulosité..	(1847-1875).	6.7
Hauteur de pluie..	(1826-1875).	36^{mm}.5
Nombre de jours de pluie.	(id.).	8
Température moyenne ...	(id.).	+ 1°.60
Fraction de saturat.	(1849-1875).	82 %

Observations météorologiques faites dans le canton de Genève

Résultats des observations pluviométriques

Station	CÉLIGNY	COLLEX	CHAMBESY	CHATELAINE	SATIGNY	ATHENAZ	COMPESIÈRES
Hauteur d'eau en mm.	104.6	107.1	99.2	105.3	101 2	99.7	85.5

Station	VEYRIER	OBSERVATOIRE	COLOGNY	PUPLINGE	JUSSY	HERMANCE
Hauteur d'eau en mm.	81.1	91.2	85.5	66.6	63.0	92.4

Insolation à Jussy : 63.4 h.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES AU

GRAND SAINT-BERNARD

PENDANT LE MOIS

DE FÉVRIER 1915

Les 1, 2, 3, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 19, 20, 21, 22, 23, 24 et 25, neige.
10, 13 et 25, brouillard.
9, 10, 11, 12, 13, 14, 17, 18, 19,20 et 22, fort vent.
23 et 24, violente bise.

GRAND SAINT-BERNARD — FÉVRIER 1915

Jour du mois	Pression atmosphérique 500mm + 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 3 Obs.	Ecart av. la norm.	Barographe Min.	Max.	Vent 7 h.	1 h.	9 h.	Dominant	Nébulosité 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 3 Obs.	Pluie Hauteur (24 h.)	Neige Hauteur (24 h.)
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.									mm.	cm.
1	57.0	59.1	61.8	59.3	- 1.1	56.8	62.3	NE. 1	NE. 2	NE. 1	NE. 1	10	10	10	10	4.0	6
2	63.1	64.3	65.5	64.3	+ 3.9	62.3	65.9	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	0	0	0	0	3.0	5
3	65.4	67.8	67.0	**67.0**	+ **6.6**	65.9	**67.8**	NE. 2	SW 1	NE. 1	NE. 1	10	0	0	3	0.6	....
4	65.5	65.2	64.4	65.0	+ 4.7	64.2	66.6	NE. 1	NE. 1	SW. 2	NE. 1	1	2	0	1	....	....
5	64.0	64.2	63.3	63.8	+ 3.5	62.4	64.2	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	0	0	0	0	....	....
6	60.4	60.2	61.5	60.7	+ 0.4	60.2	62.4	SW. 2	SW. 1	NE. 1	SW. 1	2	10	3	5	....	....
7	62.0	63.0	64.3	63.1	+ 2.9	61.7	64.3	SW. 1	NE. 0	SW. 1	SW. 1	2	0	10	4	...	....
8	64.3	64.3	63.5	64.0	+ 3.8	63.1	64.3	SW. 1	SW. 1	SW. 1	SW. 1	1	10	10	7	....	....
9	60.6	58.8	57.1	58.8	- 1.4	56.2	63.1	SW. 3	SW. 4	SW. 4	SW. 4	10	10	10	10	1.6	1
10	52.3	50.8	52.5	51.9	- 8.2	50.4	56.2	SW. 4	SW. 1	NE. 1	SW. 2	10	10	10	10	12.0	18
11	54.7	54.0	52.6	53.8	- 6.3	52.4	55.2	SW. 3	SW. 3	NE. 3	SW. 3	10	10	10	10	13.7	23
12	52.5	53.3	55.2	53.7	- 6.4	52.4	55.3	SW. 3	SW 2	SW. 1	SW. 2	10	10	3	8	5.7	10
13	55.4	54.5	55.2	55.0	- 5.0	54.4	55.6	SW. 3	SW. 2	SW. 1	SW. 2	10	10	10	10	0.4	1
14	51.7	51.0	51.3	51.3	- 8.7	50.8	51.4	SW. 3	SW. 2	SW. 1	SW. 2	10	8	1	6	**16.0**	**25**
15	52.6	54.7	56.6	54.6	- 5.4	51.7	57.7	SW. 1	SW. 0	NE. 1	var.	10	9	10	10	3.0	6
16	59.3	61.5	63.8	61.5	+ 1.5	57.7	64.0	NE. 3	NE. 0	NE. 1	NE. 1	10	8	0	6	6.0	10
17	64.2	64.7	64.5	64.5	+ 4.6	63.6	64.9	NE. 1	SW. 3	SW. 1	SW. 2	0	4	2	2	....	....
18	61.3	60.0	57.8	59.7	- 0.2	56.7	63.6	SW. 3	SW. 2	SW. 2	SW. 2	6	6	10	7	...	....
19	54.0	52.4	50.5	52.3	- 7.6	49.6	56.7	SW. 3	SW. 2	SW. 2	SW. 2	10	7	10	9	9.4	14
20	46.2	43.5	44.1	**44.7**	- **15.1**	**42.8**	49.6	SW. 3	SW. 4	SW. 2	SW. 3	10	10	10	10	3.2	8
21	47.2	48.3	49.5	48.3	- 11.5	45.5	49.5	NE. 2	NE. 2	NE. 1	NE. 2	10	1	0	4	13.8	16
22	46.5	44.7	44.0	45.1	- 14.7	43.8	49.2	SW. 2	SW. 3	SW. 1	SW. 2	10	10	10	10	9.3	12
23	46.4	48.0	51.6	48.7	- 11.1	44.6	52.2	NE. 5	NE. 6	NE. 5	NE. 5	10	10	10	10	8.0	17
24	53.4	54.2	56.0	54.5	- 5.3	52.2	56.7	NE. 3	NE. 1	NE. 3	NE. 3	10	10	2	7	3.6	6
25	57.5	58.5	60.5	58.8	- 0.9	56.7	61.2	NE. 1	NE. 1	NE. 2	NE. 1	9	10	10	10	2.0	6
26	61.8	62.3	63.8	62.6	+ 2.9	61.2	64.0	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	4	9	0	4	....	....
27	63.6	64.4	64.7	64.2	+ 4.5	63.4	64.8	NE. 1	NE 2	NE. 1	NE. 1	3	0	1	1	....	....
28	62.3	61.5	60.6	61.5	+ 1.8	59.8	64.1	NE. 1	NE. 1	NE. 2	NE. 1	2	0	3	2	...	....
Mois	57.35	57.47	57.98	57.60	- 2.64							6.8	6.6	5.5	6.3	115.3	184

GRAND SAINT-BERNARD — FÉVRIER 1915

Jour du mois	Température							Fraction de saturation en %					
	7 heures	1 heure	9 heures	Moyenne 3 Observ.	Ecart avec la normale	Minimum	Maximum	7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 3 Obs.	Min.	Max.
	°	°	°	°	°	°	°						
1	- 14.6	- 11.4	- 13.2	- 13.1	- 4.0	- 15.2	- 11.0	92	95	95	94	80	97
2	- 15.4	- 10.2	- 12.4	- 12.7	- 3.6	- 15.7	- 8.4	93	46	37	59	**14**	95
3	- 7.5	- 5.2	- 6.8	- 6.5	+ 2.5	- 11.6	- 4.1	97	80	62	80	18	97
4	- 3.7	- 1.5	- 4.5	**- 3.2**	**+ 5.8**	- 5.8	**- 1.5**	45	46	47	46	17	56
5	- 4.7	- 3.5	- 6.2	- 4.8	+ 4.2	- 7.0	- 3.1	44	47	52	48	22	63
6	- 7.3	- 8.7	- 8.6	- 8.2	+ 0.8	- 9.8	- 7.0	55	73	96	75	37	98
7	- 10.2	- 5.4	- 7.5	- 7.7	+ 1.3	- 10.4	- 5.2	82	77	57	72	45	86
8	- 7.2	- 6.9	- 9.8	- 8.0	+ 1.0	- 10.1	- 6.6	84	86	98	89	67	98
9	- 10.3	- 9.1	- 10.1	- 9.8	- 0.8	- 10.4	- 9.0	99	99	99	**99**	98	100
10	- 9.8	- 7.0	- 11.0	- 9.3	- 0.4	- 13.2	- 6 0	99	99	99	**99**	99	100
11	- 13.6	- 12.2	- 10.9	- 12.2	- 3.3	- 14.3	- 10.6	94	85	95	91	82	100
12	- 10.7	- 7.5	- 10 1	- 9.4	- 0.5	- 10.8	- 7.4	97	96	95	96	80	98
13	- 12.0	- 10.7	- 11.1	- 11.3	- 2.4	- 12.2	- 10.7	96	96	95	96	94	98
14	- 10.1	- 5.5	- 11.7	- 9 1	- 0.3	- 11.7	- 5.3	96	97	90	94	78	98
15	- 11.5	- 6.6	- 11 2	- 9.8	- 1.0	- 12.0	- 6.4	91	77	92	87	70	95
16	- 14.5	- 11.5	- 14.9	- 13.6	- 4 8	- 15.0	- 11 5	95	95	80	90	30	97
17	- 9.6	- 7.6	- 11.5	- 9.6	- 0.8	- 13.8	- 5.3	34	62	34	**43**	15	66
18	- 9.2	- 8.7	- 12.3	- 10.1	- 1.4	- 12.5	- 7.6	55	59	94	69	27	95
19	- 11.0	- 9.2	- 10.5	- 10.2	- 1.5	- 12.2	- 9.1	94	97	97	96	93	98
20	- 12.5	- 10.5	- 10.0	- 11.0	- 2.4	- 12.5	- 9.7	96	96	97	96	96	98
21	- 10.8	- 8.2	- 14.0	- 11.0	- 2.4	- 14.2	- 7.8	97	97	94	96	91	99
22	- 13.1	- 12.2	- 11.0	- 12.1	- 3.5	- 14.0	- 10.8	85	92	93	90	80	96
23	- 12.5	- 11.2	- 13.8	- 12.5	- 1.0	- 14.0	- 11.0	99	98	98	98	96	100
24	- 14.2	- 11.2	- 17.0	- 14.1	- 5.6	- 17.4	- 11.0	97	98	96	97	95	98
25	- 17.2	- 13 2	- 15.1	- 15.2	- 6.8	- 17.6	- 11.8	95	95	96	95	93	98
26	- 17.2	- 14.7	- 17.3	**- 16.4**	**- 8.0**	- 17.5	- 14.2	95	95	95	95	92	97
27	- 15.9	- 9.8	- 10.5	- 12.1	- 3.8	**- 17.7**	- 9.3	68	60	49	59	42	94
28	- 8.6	- 7.6	- 10.7	- 9.0	- 0.7	- 10.8	- 7.1	66	68	95	76	40	96
Mois	- 11.25	- 8.82	- 11.20	- 10.42	- 1.81	- 12.84	- 8.16	84	83	83	83		

MOYENNES DU GRAND SAINT-BERNARD — FEVRIER 1915

Correction pour réduire la pression atmosphérique du Grand Saint-Bernard à la pesanteur normale : — 0mm.22. — Cette correction n'est pas appliquée dans les tableaux.

Pression atmosphérique : 500mm + **Fraction de saturation en %**

	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
	mm	mm	mm	mm				
1re décade	61.53	61.77	62.09	61.80	79	75	74	76
2e »	55.19	54.96	55.19	55.11	85	86	87	86
3e »	54.84	55.24	56.34	55.48	88	88	89	88
Mois	57.35	57.47	57.98	57.60	84	83	83	83

Température.

	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne. $\frac{7+1+9}{3}$	Moyenne. $\frac{7+1+2\times9}{4}$
	°	°	°	°	°
1re décade	— 9.07	— 6.89	— 9.01	— 8.32	— 8.49
2e »	— 11.47	— 9.00	— 11.42	— 10.63	— 10.83
3e »	— 13.69	— 11.01	— 13.68	— 12.79	— 13.01
Mois	— 11.25	— 8.82	— 11.20	— 10.42	— 10.62

Dans ce mois l'air a été calme 36 fois sur 1000.

Le rapport des vents $\frac{NE}{SW} = \frac{69}{85} = 0.81$

Pluie et neige dans le Val d'Entremont.

Station	Martigny-Ville	Orsières	Bourg-St-Pierre	St-Bernard
Eau en millimètres.....	24.9	8.0	33.6	115.3
Neige en centimètres....	2	17	44	184

LA
THÉORIE DES PROBABILITÉS
ET
LA PHYSIQUE

PAR

Edouard GUILLAUME

(DEUXIÈME PARTIE)

(Suite [1]*)*

---

§ 10.

Répartitions canonique et microcanonique généralisées. — Le second Principe pour les phénomènes réversibles. — La Thermodynamique fondée sur la seule notion de « *complication infinie* ». — Caractères généraux d'une théorie statistique de la Thermodynamique : restrictions dans la validité des deux Principes.

79. Reprenons les considérations du § 6 et envisageons un système physique défini par un nombre énorme, r, de paramètres. Ce sera, par exemple, un morceau de métal, un gaz, ou encore un système rayonnant, etc. Les paramètres caractérisent les actions à l'échelle moléculaire : actions entre molécules, molécules et atomes, atomes et électrons, électrons et énergie rayonnante, etc.

Suivons, comme nous l'avons fait, le point représentatif de

[1]) Voir *Archives,* 1914, t. XXXVIII, p. 373 et 1915, t. XXXIX, p. 205.

l'état du système dans l'hyperespace à r dimensions, aux instants :

$$(R_1) \qquad t_1, t_1 + \tau, \ldots, t_1 + (n_0 - 1)\tau .$$

Cette succession d'états, qui forme la répartition R_1, est liée à une fonction bien déterminée, *continue* ou *discontinue,* des paramètres : l'énergie $E(x_1, \ldots, x_r; a_1, a_2, \ldots)$ du système.

En général, outre les échanges d'ordre moléculaire avec l'ambiance, le système exerce certaines actions d'ensemble sur les corps, supposés immobiles, qui l'environnent. Ces actions fournissent une énergie potentielle dont nous tenons compte en supposant E fonction *continue* d'un certain nombre de quantités $a_1, a_2, a_3, \ldots$, que nous avons appellées *coordonnées extérieures*; elles serviront à fixer la position de ces corps. Par exemple, si le système est un liquide, un gaz, etc., nous devons supposer l'un ou l'autre dans quelque cylindre fermé par un piston, de façon qu'on puisse varier le volume et mesurer la pression.

Les forces généralisées qu'exercera le système sur les corps extérieurs seront donc :

$$A_1 = -\frac{\partial E}{\partial a_1} \quad , \quad A_2 = -\frac{\partial E}{\partial a_2} , \ldots ,$$

et nous supposerons que, pour toute la suite des répartitions $R_1, R_2, \ldots, R_{N_0}$, on maintient *invariables* les coordonnées extérieures.

80. A chacun des instants ci-dessus, l'énergie possédera une valeur bien déterminée. Ces valeurs seront tantôt plus grandes, tantôt plus petites, selon les circonstances du moment, c'est-à-dire les échanges à l'échelle moléculaire, puisqu'on suppose les coordonnées extérieures invariables.

L'équation

$$E(x_1, \ldots, x_r; a_1, a_2, \ldots) = \text{const}$$

représente une certaine multiplicité à $(r - 1)$ dimensions. A chacun des instants $t_1, t_1 + \tau, \ldots$, le point représentatif du système sautera, en général, d'une de ces multiplicités à une autre.

Mais, nous n'aurons de problème intéressant que si nous

supposons le système physique dans des conditions telles que toutes les valeurs que prend son énergie à ces instants, admettent une certaine *valeur moyenne*; nous la désignerons par $\overline{E}$. Alors le point représentatif restera, en général, dans le voisinage de la multiplicité

$$E(x_1, \ldots, x_r; a_1, a_2, \ldots) = \overline{E}(a_1, a_2, \ldots).$$

Les forces extérieures admettront également des valeurs moyennes :

$$\overline{A}_1 = -\frac{\partial \overline{E}}{\partial a_1}, \quad \overline{A}_2 = -\frac{\partial \overline{E}}{\partial a_2}, \ \ldots .$$

Dans ce cas, en identifiant E avec φ, on pourra appliquer les résultats du § 6.

Pour nous conformer aux notations de Gibbs, nous substituerons aux quantités α et β, les quantités ψ et θ définie par les relations :

$$-1 - \overline{\alpha} = \frac{\psi}{\theta} \quad ; \quad \overline{\beta} = \frac{1}{\theta}.$$

Nous aurons le système :

$$(\mathrm{V}) \quad \left\{ \begin{aligned} \overline{\mathfrak{p}} &= e^{\frac{\psi - E}{\theta}}, \\ 1 &= \sum_{\mathfrak{D}_r} \overline{\mathfrak{p}}, \\ \overline{E} &= \sum_{\mathfrak{D}_r} \overline{\mathfrak{p}} E, \end{aligned} \right.$$

qui nous donnera la probabilité moyenne d'état $\overline{\mathfrak{p}}$, en fonction de l'énergie E, c'est-à-dire la répartition la plus probable $\overline{R}$ compatible avec cette énergie.

Nous l'appellerons *répartition canonique généralisée.*

La quantité θ est le *module* de la répartition; elle joue, comme nous le verrons, un rôle analogue à la température.

Dans les applications, nous aurons encore à considérer la fonction H et sa valeur moyenne. On a (n° 61) :

$$\overline{\overline{\mathfrak{p}}} = e^{\frac{\psi - \overline{E}}{\theta}} \quad \text{et} \quad \overline{H} = \frac{\psi - \overline{E}}{\theta},$$

dont on déduit immédiatement l'entropie statistique.

81. Comme l'exposant $\frac{\psi - E}{\theta}$ doit être un nombre pur, ψ et θ doivent avoir les dimensions d'une énergie. Les applications montrent que l'on peut poser

$$\theta = kT ,$$

où T est la température absolue et k une constante universelle. T étant un nombre, k a les dimensions d'une énergie. On la désigne sous le nom de *constante d'énergie moléculaire*; elle est définie par

$$k = \frac{R}{N_A} ,$$

où R est la constante des gaz parfaits et N_A le nombre d'Avogadro, c'est-à-dire le nombre de molécules par molécule-gramme. Lorsqu'on se sert d'unités thermiques au lieu d'unités mécaniques, il faut diviser k par J, l'équivalent mécanique de la calorie.

82. Un cas particulier important est celui où le système est dit *isolé,* c'est-à-dire où les échanges d'ordre moléculaire avec l'ambiance sont si faibles, qu'on peut les négliger complètement. L'énergie du système reste constante et sa valeur se confond avec la valeur moyenne ci-dessus. Le point représentatif ne quitte plus la multiplicité correspondante. On a alors pour la probabilité moyenne d'état :

$$\bar{\mathfrak{p}} = e^{\frac{\psi - E}{\theta}} = e^{\frac{\psi - \bar{E}}{\theta}} = \bar{\bar{\mathfrak{p}}} = \text{const} ,$$

autrement dit, la répartition la plus probable sur la multiplicité, est *uniforme.* Nous l'appellerons *répartition microcanonique généralisée.* C'est un cas limite irréalisale; les fluctuations d'énergie sont inévitables; le Principe de la conservation de l'énergie ne s'applique qu'en moyenne.

83. Montrons maintenant que le module θ jouit de propriétés analogues à la température.

Considérons les répartitions canoniques de deux systèmes A et B définis l'un par r_A, l'autre par r_B paramètres, chacun dans leurs domaines respectifs $\mathfrak{D}_A$ et $\mathfrak{D}_B$, et supposons-les de

même module θ. Les probabilités moyennes d'état de A et B seront :

$$\bar{\mathfrak{p}}_A = e^{\frac{\psi_A - E_A}{\theta}} \quad ; \quad \bar{\mathfrak{p}}_B = e^{\frac{\psi_B - E_B}{\theta}} .$$

Les énergies E_A et E_B peuvent être soit toutes deux des fonctions discontinues de leurs paramètres, soit l'une une fonction continue et l'autre discontinue, soit enfin toutes deux des fonctions discontinues, ceci au sens indiqué aux n°s 76-78.

Mettons en contact les deux systèmes A et B. Nous obtiendrons un système C dont l'état peut être représenté par un point de l'espace représentatif à $r_A + r_B$ dimensions, dans le domaine $\mathfrak{D}_A + \mathfrak{D}_B$. Il arrivera, en général, que le contact fera naître une énergie mutuelle E_{AB}; nous supposerons qu'elle ne modifie pas le module : actions capillaires, etc. La probabilité moyenne d'état du système C sera

$$\bar{\mathfrak{p}}_C' = e^{\frac{\psi_C - (E_A + E_B + E_{AB})}{\theta}} .$$

Or, si l'on maintenait les systèmes complètement *isolés* l'un de l'autre, la probabilité pour que A soit dans un état déterminé en même temps que B se trouve dans un état déterminé, serait égale à la probabilité composée $\overline{\mathfrak{p}_C}$, pour que le point représentatif de A se trouve dans une case désignée de son domaine $\mathfrak{D}_A$, en même temps que le point représentatif de B se trouve dans une case désignée de son domaine $\mathfrak{D}_B$. On aurait alors :

$$\bar{\mathfrak{p}}_C = \bar{\mathfrak{p}}_A \,.\, \bar{\mathfrak{p}}_B = e^{\frac{\psi_A + \psi_B - (E_A + E_B)}{\theta}} .$$

Si donc E_{AB} devient négligeable, l'exposant de cette dernière relation tendra vers l'exposant de la relation précédente, et l'on aura à la limite :

$$\overline{\mathfrak{p}_C'} = \overline{\mathfrak{p}_C}.$$

Si, par contre, les modules de A et B sont différents, on aura en laissant les systèmes *isolés* l'un de l'autre :

$$\bar{\mathfrak{p}}'' = e^{\frac{\psi_A - E_A}{\theta_A}} \, e^{\frac{\psi_B - E_B}{\theta_B}} ,$$

et l'on voit qu'il est impossible, même d'une façon approximative, de mettre cette expression sous la forme canonique : on ne peut donc mettre les systèmes en contact sans les modifier.

84. Cette propriété de la répartition canonique, indiquée par Gibbs pour les systèmes purement mécaniques, se trouve ainsi généralisée et valable pour des systèmes physiques quelconques. Elle indique, en particulier, quel sens statistique il convient d'attacher à l'équilibre de température entre un système mécanique et un système rayonnant.

85. Nous allons démontrer une seconde propriété de la répartition canonique, qui a son analogue dans une proposition fondamentale de la Thermodynamique.

Considérons une première suite de répartitions :

$$R_1\ ,\quad R_2\ ,\quad R_3\ ,\ \ldots\ ;\quad \overline{R}\ ,$$

Dans cette suite, les coordonnées extérieures a_1, a_2, ... ont chacune une valeur bien déterminée invariable. Modifions infiniment peu ces coordonnées, de façon qu'elles prennent les nouvelles valeurs : $a_1 + da_1$, $a_2 + da_2$, ... Nous obtiendrons, pour ce nouveau système, une nouvelle suite de répartitions que nous désignerons symboliquement par :

$$R_1 + (d)R_1\ ,\quad R_2 + (d)R_2\ ,\ \ldots\ ;\quad \overline{R} + (d)\overline{R}\ .$$

Ceci posé, considérons la seconde des relations (V) :

$$e^{-\frac{\psi}{\theta}} = \sum_{\mathfrak{D}_r} e^{-\frac{E}{\theta}}\ ,$$

qui permet de déterminer ψ. On voit que ψ se présente comme une fonction de θ et des coordonnées extérieures a_1, a_2. .... Lorsqu'on passe des répartitions R aux répartitions $R + (d)R$, ces quantités subissent des accroissements; on a donc, en différenciant cette dernière relation par rapport à θ, a_1, a_2, ... :

$$e^{-\frac{\psi}{\theta}}\left(-\frac{d\psi}{\theta} + \psi\frac{d\theta}{\theta^2}\right) = \frac{d\theta}{\theta^2}\sum_{\mathfrak{D}_r} E e^{-\frac{E}{\theta}} -$$

$$-\frac{da_1}{\theta}\sum_{\mathfrak{D}_r}\frac{\partial E}{\partial a_1}e^{-\frac{E}{\theta}} - \frac{da_2}{\theta}\sum_{\mathfrak{D}_r}\frac{\partial E}{\partial a_2}e^{-\frac{E}{\theta}} - \ldots\ .$$

Multiplions les deux membres par $\theta e^{-\frac{\psi}{\theta}}$; chacune des sommes donne une certaine valeur moyenne; on a donc :

$$d\psi = \frac{\psi - \overline{E}}{\theta} d\theta - \overline{A}_1 da_1 - \overline{A}_2 da_2 - \ldots .$$

Or, le coefficient de $d\theta$ n'est pas autre chose que $\overline{H}$, d'après la relation :

$$\psi - \overline{E} = \overline{H}\theta .$$

La troisième des relations (V) montre que $\overline{E}$ dépend, comme ψ, de θ, a_1, a_2, ...; il en sera donc de même de $\overline{H}$. Différencions la dernière égalité par rapport à ces variables :

$$d\psi - d\overline{E} = \theta d\overline{H} - \overline{H} d\theta ,$$

et remplaçons, dans l'expression de $d\psi$ ci-dessus, $d\psi$ tiré de cette dernière relation. On trouve finalement :

$$- d\overline{H} = \frac{d\overline{E} + \overline{A}_1 da_1 + \overline{A}_2 da_2 + \ldots}{\theta} .$$

C'est l'expression fondamentale de l'équilibre thermodynamique entre l'entropie, l'énergie et la température d'un corps, et les actions qu'il exerce sur son ambiance, c'est-à-dire l'expression du second Principe de la Thermodynamique pour les phénomènes réversibles. Le second membre de cette expression est, comme le premier, une différentielle totale exacte.

On voit que le module de la répartition canonique, θ, joue bien le rôle de la température et $-\overline{H}$, celui de l'entropie. De plus, comme nous l'avons vu, $-\overline{H}$ est la valeur maximum de $-H$; elle correspond à l'équilibre thermodynamique. En Thermodynamique, l'entropie contient une constante additive arbitraire; ici, elle est définie comme la valeur moyenne du logarithme de la probabilité d'état.

On appelle quelquefois la quantité

$$\psi = \overline{E} + \theta H ,$$

l'*énergie libre* du système; elle dépend de θ, a_1, a_2, ...

86. Il est intéressant de remarquer que ces conclusions justifient l'application de la Thermodynamique au rayonnement. Le second principe est valable alors même que les processus d'ordre moléculaire sont discontinus.

87. Cette seconde propriété de la répartition canonique, comme celle du n° 83, a d'abord été indiqué par Gibbs pour les systèmes purement mécaniques.

Le physicien américain avait imaginé la *Mécanique statistique* pour montrer que la Thermodynamique n'est pas inconciliable avec les principes de la Mécanique. Il pensait, en outre, que la *Mécanique statistique* formerait la meilleure base pour l'étude de la « Thermodynamique rationnelle » et de la Mécanique moléculaire.

Nous voyons qu'il n'est pas besoin de se restreindre à l'hypothèse mécanique pour appliquer la méthode statistique. De même que les propriétés thermodynamiques sont, dans une large mesure, indépendantes de la nature des systèmes, de même la théorie statistique doit être indépendante des images plus ou moins appropriées que l'on se fait de ceux-ci.

En résumé, *une seule notion, la* complication infinie *précisée par la notion de* brassage parfait, *suffit complètement pour jeter les bases de la Thermodynamique.*

Celle-ci se présente donc comme *l'étude des propriétés d'ensemble des systèmes très complexes, quels qu'ils soient.* De là, la généralité de cette science.

88. Examinons maintenant d'un peu plus près les caractères généraux qu'une théorie statistique confère aux lois de la Thermodynamique.

1° Ces lois sont d'ordre statistique, c'est-à-dire ne sont réalisées avec une approximation suffisantes que : *a)* si le système est suffisamment compliqué ; *b)* s'il peut être observé suffisamment longtemps, en un mot, si r, n_0 et N_0 sont très grands. Ces conditions exigent du système une certaine qualité que nous pourrions appeler sa *pérennité* : à la fin des observations, le système doit, en effet, répondre encore sensiblement à la définition initiale que l'on en a donné pour établir les calculs. De même qu'on ne peut additionner ou soustraire que des objets de nature identique, de même, en toute rigueur, les probabilités

ne peuvent porter que sur des systèmes pérennes. Or, il n'en est pas ainsi dans les applications physiques. Pour le bien comprendre, représentons-nous un corps quelconque; nous le divisons par la pensée en un nombre énorme de particules que nous appelons molécules : M_1, M_2, M_3, ... Suivant la remarque de E. Mach reprise par Einstein dans sa théorie de la gravitation, l'inertie est une propriété relative : l'inertie de M_1 dépendra des positions de M_2, M_3, ... ; de plus, la masse peut se transformer en énergie et l'énergie en masse; la radioactivité nous laisse soupçonner qu'une molécule elle-même est un agrégat d'un nombre énorme de particules en mouvement; de temps en temps, une de ces particules peut quitter l'agrégat, etc.; de sorte que l'individu que j'ai appelé M_1 à l'instant t_1, ne sera déjà plus le même à l'instant $t_1 + \tau$. Comment, dans ce cas, puis-je affirmer que tel état est « plus probable » que tel autre? Ce n'est qu'en vertu d'une convention que cette affirmation peut avoir un sens, et ce sens ne peut être qu'approximatif.

2° L'établissement statistique des lois thermodynamiques repose sur la notion de brassage parfait, qui est une notion *limite*, basée sur la complication infinie. Mais cette complication ne doit pas être quelconque : elle doit laisser inaltérés les individus que j'ai désignés par M_1, M_2, M_3, ...

Ainsi, d'une part, il nous faut une grande pérennité, d'autre part, une grande complication. Or si, comme nous venons de le voir, la complication est ce qui manque le moins dans la Nature, tout tend à nous faire croire, par contre, qu'elle est incompatible avec l'inaltération des individus : les conditions à réaliser sont contradictoires, et nous en serons réduit à faire un compromis.

En résumé, du point de vue statistique, les principes de la Thermodynamique nous apparaissent bien comme des règles d'une grande portée, mais auxquelles, cependant, on ne peut conférer une universalité complète.

C'est ce que nous verrons encore mieux lorsque nous examinerons le second principe dans ses relations avec les phénomènes irréversibles, et la notion connexe de « tendance ».

§ 11.

Applications de la répartition canonique généralisée. — Partitions de l'énergie cinétique et de l'énergie rayonnante. — Entropies correspondantes.

89. Cherchons d'abord la *partition moyenne de l'énergie cinétique entre les paramètres.*

Nous pourrions partir directement des formules continues données au § 7. Nous préférons cependant nous servir des formules générales (V), afin d'en bien montrer la portée.

Nous avons exprimé l'énergie mécanique par la fonction

$$E = \frac{1}{2}\left\{ u_1^2 + u_2^2 + \ldots + u_n^2 \right\} + U ,$$

où les u sont des paramètres continus pouvant prendre n'importe quelle valeur entre $-\infty$ et $+\infty$; U dépend des coordonnées généralisées q, et des coordonnées extérieures. Nous avons introduit une unité arbitraire ε_0' d'énergie cinétique, supposée très petite.

Nous diviserons en cases le domaine $\mathfrak{D}_u$ en introduisant un système d'axes rectangulaires pour les u et en partageant chaque axe u en parties égales, telles que

$$\Delta u_1 = \Delta u_2 = \ldots = \Delta u_n = (2\varepsilon_0')^{\frac{1}{2}} .$$

Le volume d'une case sera donc :

$$\Delta u_1 \Delta u_2 \ldots \Delta u_n = (2\varepsilon_0')^{\frac{n}{2}} ;$$

La première des formules (V) donne :

$$\bar{\mathfrak{p}} = e^{\frac{\psi - U}{\theta}} e^{-\frac{1}{2\theta}(u_1^2 + \ldots + u_n^2)} ;$$

elle contient la *loi de répartition des vitesses de Maxwell.*

La seconde des formules (V) devient :

$$1 = e^{\frac{\psi}{\theta}} \sum_{\mathfrak{D}_q} e^{-\frac{U}{\theta}} \sum_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{1}{2\theta}u_1^2} \sum \cdots \sum_{-\infty}^{+\infty} e^{\frac{1}{2\theta}u_n^2} ,$$

où la première somme doit être étendue au domaine fini $\mathfrak{D}_q$ tout entier; le domaine $\mathfrak{D}_u$ est infini, puisque, dans la répartition canonique, l'énergie du système peut prendre n'importe quelle valeur.

Or, si Δu est très petit, on a sensiblement :

$$\sum_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{1}{2\theta}u^2} = \frac{1}{\Delta u} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{1}{2\theta}u^2} du = \left(\frac{\pi\theta}{\varepsilon_0'}\right)^{\frac{1}{2}} ,$$

ce qui donne :

$$e^{\frac{\psi}{\theta}} \sum_{\mathfrak{D}_q} e^{-\frac{U}{\theta}} = \left(\frac{\varepsilon_0'}{\pi\theta}\right)^{\frac{n}{2}} .$$

La valeur $\frac{1}{2}\overline{u^2}$ de l'énergie cinétique que possède, en moyenne, un paramètre quelconque u, sera donnée par l'expression :

$$\frac{1}{2}\overline{u^2} = \sum_{\mathfrak{D}_u} \frac{1}{2} u^2 \mathfrak{p} ,$$

d'où l'on tire, en développant les sommes :

$$\frac{1}{2}\overline{u^2} = \frac{1}{2}\theta .$$

Ce résultat important est valable quelle que soit l'énergie potentielle U et quel que soit le paramètre u considéré.

On peut dire, en introduisant les paramètres x (n° 78), que $\overline{x^2}$ est le nombre d'unités cinétiques que possède, en moyenne, un paramètre x quelconque. On a donc d'une façon générale :

$$\frac{1}{2}\overline{u^2} = \varepsilon_0'\overline{x^2} = \frac{1}{2}\theta = \frac{1}{2}k\mathrm{T} ,$$

autrement dit, tous les paramètres de même espèce ont même carré moyen. Par exemple, si le système est formé de points

matériels à 3 degrés de liberté et de masses différentes, chaque liberté aura, en moyenne, la force-vive $\frac{1}{2}k\mathrm{T}$, et chaque point matériel aura, en moyenne, la force-vive $\frac{3}{2}k\mathrm{T}$. Une molécule de grosse masse aura donc, en moyenne, une vitesse plus petite qu'une molécule de masse plus faible.

90. Nous pouvons ainsi énoncer la proposition :

Théorème de l'équipartition de l'énergie cinétique. — *Si, pour exprimer l'énergie d'un système, on choisit les paramètres de façon que l'expression analytique de cette énergie se présente sous la forme de la somme des carrés de chacun d'eux, ce qui est toujours possible, — dans le brassage parfait compatible avec cette expression, chaque paramètre recevra, en moyenne, la même portion* $\frac{1}{2}\mathrm{kT}$ *de l'énergie cinétique moyenne totale.*

Cette énergie moyenne totale aura pour valeur, puisqu'il y a n *paramètres :*

$$\overline{\mathrm{T}} = \frac{1}{2}n\theta = \frac{1}{2}nk\mathrm{T}\ .$$

Pour un même système, elle est proportionnelle à la température; pour des systèmes différents à la même température, elle est proportionnelle au nombre des libertés.

91. La *capacité calorifique* d'un système à volume constant, c'est-à-dire la quantité d'énergie cinétique qu'il faut lui communiquer pour élever sa température d'un degré, est, en unités mécaniques :

$$\frac{d\overline{\mathrm{T}}}{d\mathrm{T}} = \frac{1}{2}nk\ ;$$

elle est proportionnelle au nombre des libertés du système. Si celui-ci est composé de $\mathrm{N_A}$ molécules à 3 libertés, on trouve, en unités thermiques :

$$c_v = \frac{3}{2}\frac{k\mathrm{N_A}}{\mathrm{J}} = 2{,}98 \quad \text{(cal. degré)}\ .$$

Par exemple, pour l'argon, l'expérience donne 2,977 à toute température entre 0° et 2.500°. L'accord est donc des plus remarquables.

92. Déterminons la valeur maximum de l'entropie. On a :

$$\bar{\bar{\mathfrak{p}}} = e^{\frac{\psi - \bar{U} - \bar{T}}{\theta}} = e^{-\frac{\bar{U}}{\theta}} \left(\sum_{\mathfrak{D}_q} e^{-\frac{U}{\theta}} \right)^{-1} \left(\frac{\varepsilon_0'}{\pi e \theta} \right)^{\frac{n}{2}},$$

d'où pour l'expression générale de l'entropie statistique maximum d'un système mécanique à n libertés :

$$-\bar{H} = \log \left\{ e^{\frac{\bar{U}}{\theta}} \left(\sum_{\mathfrak{D}_q} e^{-\frac{U}{\theta}} \right) \left(\frac{\pi e \theta}{\varepsilon_0'} \right)^{\frac{n}{2}} \right\}.$$

Il est intéressant de remarquer comment on peut décomposer l'expression de $\bar{\bar{\mathfrak{p}}}$. On peut écrire en effet :

$$\bar{\bar{\mathfrak{p}}} = \bar{\bar{\mathfrak{p}}}_q \, . \, \bar{\bar{\mathfrak{p}}}_u \, ,$$

où $\bar{\bar{\mathfrak{p}}}_q$ est relatif au brassage dans $\mathfrak{D}_q$ et $\bar{\bar{\mathfrak{p}}}_u$ dans $\mathfrak{D}_u$.

On pourra, de même, décomposer $\bar{\bar{\mathfrak{p}}}_u$. On a, pour chaque degré de liberté :

$$\bar{\bar{\mathfrak{p}}}_u^{\frac{1}{n}} = \left(\frac{\varepsilon_0'}{\pi e \theta} \right)^{\frac{1}{2}}.$$

Supposons que le système est un corps formé de N molécules ayant chacune l libertés :

$$n = Nl \, .$$

On peut alors introduire une valeur moyenne de la probabilité moyenne d'état cinétique pour chaque molécule, et écrire :

$$\bar{\bar{\mathfrak{p}}}_u^{\frac{1}{N}} = \left(\frac{\varepsilon_0'}{\pi e \theta} \right)^{\frac{l}{2}}.$$

93. Appliquons cette formule à un *gaz parfait quelconque*; c'est un système mécanique formé de N molécules ayant chacune l libertés et que l'on supposera toutes de masses différentes, pour plus de généralité; il est caractérisé par le fait que son énergie est entièrement cinétique, autrement dit, l'énergie potentielle, qui n'existe que lors des chocs entre molécules, est négligeable; on peut admettre, en effet, que le temps pendant

lequel deux molécules sont extrêmement voisines, est très petit par rapport au temps de libre parcours moyen. Par contre, il y a une énergie potentielle due à l'action du gaz sur les parois du récipient qui le contient. La fonction U ne dépend donc que des coordonnées extérieures; elle devient égale à $\overline{U}$ et on peut dès lors sortir le facteur $e^{-\frac{\overline{U}}{\eta}}$ du signe Σ; chaque terme de celle-ci est égal à l'unité; cette somme devant être étendue au domaine $\mathfrak{D}_q$ tout entier, ne sera autre chose que le nombre K_q de cases en lesquelles ce domaine aura été subdivisé. Il faut donc que ce nombre reste fini pour que la somme ait un sens. Ce résultat s'interprète facilement : dire que U ne dépend pas des q, c'est dire qu'il n'y a pas de liaisons de configuration; le brassage dans $\mathfrak{D}_q$ est donc simple, et les points représentatifs sont uniformément distribués dans ce domaine.

Appelons Q le volume du domaine et $\Delta q_1 \ldots \Delta q_n$ celui d'une case; leur nombre sera

$$K_q = \frac{Q}{\Delta q_1 \ldots \Delta q_n}.$$

Or, chaque molécule ayant l libertés, sa position dépend de l paramètres. On peut donc écrire pour plus de symétrie :

$$\begin{array}{llll}
q_1 = \xi_{11}, & q_2 = \xi_{12}, & \ldots, & q_l = \xi_{1l}, \\
q_{l+1} = \xi_{21}, & q_{l+2} = \xi_{22}, & \ldots, & q_{2l} = \xi_{2l}, \\
\ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\
q_{n-l} = \xi_{N1}, & q_{n-l+1} = \xi_{N2}, & \ldots, & q_n = \xi_{Nl},
\end{array}$$

où le premier indice se rapporte à la molécule et le second au degré de liberté. Nous supposerons que les variations et les limites de ces variations sont les mêmes pour tous les degrés de liberté de même indice; on peut dire que les ξ sont des coordonnées définissant des positions dans l'intérieur d'un domaine Ξ à l dimensions, et l'on aura :

$$\Delta q_1 \ldots \Delta q_n = (\Delta \xi_{a1} \ldots \Delta \xi_{al})^N,$$

où a désigne indifféremment l'un quelconque des indices 1, 2, ..., N relatifs aux molécules.

On a, d'autre part :

$$Q = \sum_{\mathfrak{T}_q} \Delta q_1 \ldots \Delta q_n = \sum \Delta \xi_{11} \sum \ldots \sum \Delta \xi_{Nl} = \Xi^N ,$$

d'où

$$\frac{1}{K_q} = \left(\frac{\Delta \xi_{a1} \ldots \Delta \xi_{al}}{\Xi}\right)^N = \bar{\bar{p}}_q ,$$

ce qui donne pour chaque molécule une probabilité d'état de configuration :

$$\bar{\bar{p}}_q^{\frac{1}{N}} = \left(\frac{1}{K_q}\right)^{\frac{1}{N}} .$$

Du point de vue statistique, on fait ressortir clairement le rôle des domaines élémentaires par les *fluctuations moléculaires,* en configuration et en énergie; à cet effet, on introduit les *condensations moyennes* $\bar{\gamma}$. Nous appliquerons les formules des n°s 50 et 51. Cherchons d'abord les fluctuations autour du nombre moyen

$$N\bar{\bar{p}}_q^{\frac{1}{N}} .$$

On a, puisque $n_0 = N$:

$$\gamma = \frac{n_i - N\bar{\bar{p}}_q^{\frac{1}{N}}}{N\bar{\bar{p}}_q^{\frac{1}{N}}} = \lambda \sqrt{\frac{2K_q^{\frac{1}{N}}}{N}} ,$$

d'où

$$\bar{\bar{p}}_q = \left(\frac{\pi N}{2} \bar{\gamma}^2\right)^{-N} .$$

On calculera d'une façon semblable les fluctuations d'énergie cinétique autour du nombre moyen

$$N\bar{\bar{p}}_u^{\frac{1}{N}} .$$

On trouve aisément :

$$\bar{\bar{p}}_u = \left(\frac{\pi N}{2} \bar{\gamma}'^2\right)^{-N} .$$

On a donc pour l'expression générale de l'entropie statistique maximum d'une masse comprenant N molécules à l libertés, d'un gaz parfait quelconque :

$$-\bar{H} = N \log \left(\frac{\pi N}{2} \bar{\gamma}\bar{\gamma}'\right)^2 .$$

Cette expression, remarquablement simple, met bien en évidence le caractère purement statistique de l'entropie; elle est symétrique en $\bar{\gamma}$ et $\bar{\gamma}'$.

94. Appliquons cette formule à un gaz parfait monoatomique: $l = 3$. On obtient, avec les notations du n° 52 :

$$-\bar{\mathrm{H}} = \mathrm{N}\left\{\log\frac{\mathrm{V}}{\upsilon} + \frac{3}{2}\log\mathrm{T} + \log\left(\frac{\pi e k}{\varepsilon_0'}\right)^{\frac{3}{2}}\right\}.$$

Or, en Thermodynamique, l'entropie d'une masse M d'un gaz parfait quelconque, de masse moléculaire μ, de chaleur moléculaire c_v, occupant un volume V à la température T, est donnée par l'expression :

$$\mathrm{S} = \frac{\mathrm{M}}{\mu}\left(\frac{\mathrm{R}}{\mathrm{J}}\log\frac{\mathrm{V}}{\mathrm{M}} + c_v\log\mathrm{T} + s_0\right),$$

où s_0 est une constante arbitraire ne dépendant pas de M.

Nous avons ici les relations :

$$\mathrm{M} = \mathrm{N}m\ ;\quad \mu = \mathrm{N_A}m\ ;\quad \mathrm{R} = k\mathrm{N_A}\ ;\quad c_v = 3\ ,$$

d'où il résulte :

$$\mathrm{S} = \frac{k}{\mathrm{J}}\mathrm{N}\left\{\log\frac{\mathrm{V}}{\mathrm{N}} + \frac{3}{2}\log\mathrm{T} + s_0'\right\}.$$

Si nous comparons les deux entropies, nous voyons, qu'abstraction faite de la constante universelle multiplicative qui ne crée aucune difficulté, les deux expressions ne pourront conduire au même résultat que si l'on pose par exemple :

$$v = v_0\mathrm{N}\ ,$$

où v_0 désigne une constante arbitraire. Habituellement, on esquive cette difficulté en disant : « V représente un volume quelconque; donc rien n'empêche de supposer V égal au *volume spécifique* ». En raisonnant ainsi, on fait inconsciemment une hypothèse sur la grandeur des domaines élémentaires; d'où l'utilité d'expliciter ces domaines.

Faisons observer que M. Planck a déjà proposé d'introduire, d'une façon générale, les domaines élémentaires; c'est ce qu'il

appelle la « Quantenhypothese », qu'il oppose à la théorie de Boltzmann. En réalité, il n'y a pas d'opposition. La théorie de Boltzmann, comme celle de Planck, se ramène à la notion fondamentale de brassage parfait. Ce que nous avons appelé « case », Boltzmann l'appelle « cellule » et Planck « Elementargebiet »; c'est tout. Où les avis peuvent différer, c'est quand il s'agira de savoir si l'on veut conserver explicitement le terme $\log \Delta_\omega$ des formules (II') pour s'en servir ultérieurement et lui accorder une signification physique, ou bien si on le relèguera, comme Boltzmann, dans une constante que l'on déclarera arbitraire et dont on ne s'occupera plus.

95. Nous avons dit que l'entropie statistique ne dépend pas de la nature des masses. Elle ne peut donc rien nous apprendre sur l'entropie des mélanges gazeux; celle-ci doit faire appel à des hypothèses supplémentaires.

96. Nous allons maintenant chercher la *partition de l'énergie rayonnante*. On a (n° 78) :

$$E_\nu = \varepsilon_0(x_1 + x_2 + \ldots + x_N) + E_0 .$$

Nous supposerons dans le domaine $\mathfrak{D}_x$ un système d'axes rectangulaires pour les x, chacun des axes étant divisé en parties égales à ε_0; le volume d'une case sera donc $\varepsilon_0{}^N$.

La première des formules (V) donne :

$$\bar{p} = e^{\frac{\psi - E_0}{\theta}} e^{-\frac{\varepsilon_0}{\theta}x_1} e^{-\frac{\varepsilon_0}{\theta}x_2} \ldots e^{-\frac{\varepsilon_0}{\theta}x_N} .$$

La seconde des formules (V) devient :

$$1 = e^{\frac{\psi - E_0}{\theta}} \sum_0^\infty e^{-\frac{\varepsilon_0}{\theta}x_1} \sum \ldots \sum_0^\infty e^{-\frac{\varepsilon_0}{\theta}x_N} ,$$

d'où l'on tire :

$$e^{\frac{\psi - E_0}{\theta}} = \left(1 - e^{-\frac{\varepsilon_0}{\theta}}\right)^N .$$

La valeur $\varepsilon_0 \bar{x}$ de l'énergie rayonnante que possède, en moyenne, un paramètre quelconque x, sera donnée par l'expression :

$$\varepsilon_0 \bar{x} = \sum_{\mathfrak{D}_x} \varepsilon_0 x \bar{p} ,$$

ce qui fournit pour le nombre $\bar{x}$ de quanta que possède, en moyenne, un paramètre quelconque :

$$\bar{x} = \frac{1}{e^{\frac{\varepsilon_0}{\theta}} - 1} .$$

Comme auparavant, on a, ici aussi :

$$\theta = k\mathrm{T} ;$$

de plus, d'après la loi de Wien, $\bar{x}$ doit être uniquement fonction de $\frac{\mathrm{T}}{\nu}$; il faut donc que

$$\varepsilon_0 = h\nu ,$$

h étant une constante universelle.

97. Nous pouvons ainsi énoncer la proposition :

Théorème de partition de l'énergie rayonnante. — *Lorsque l'expression analytique de l'énergie d'un système rayonnant est mise sous la forme d'une somme de paramètres ne pouvant prendre que des valeurs positives, entières et relatives à une même fréquence ν, chaque paramètre reçoit, en moyenne, dans le brassage parfait compatible avec cette expression, le même nombre de quanta; ce nombre est d'autant plus faible que la fréquence ν est plus grande ou que la température est plus basse.*

L'énergie moyenne totale relative à cette fréquence ν a pour valeur, puisqu'il y a N *paramètres :*

$$\mathrm{E}_\nu = \frac{\mathrm{N}\varepsilon_0}{e^{\frac{\varepsilon_0}{\theta}} - 1} + \mathrm{E}_0 .$$

Au zéro absolu, elle n'est pas nulle, mais égale à la constante E_0 *appelée « énergie au zéro absolu ».*

Ainsi, il y a équipartition entre des paramètres relatifs à une même fréquence, mais non entre des paramètres relatifs à des fréquences différentes.

98. Les deux cas extrêmes suivants sont importants :

1° $\frac{\varepsilon_0}{\theta}$ est très grand. On a alors

$$\bar{x} = e^{-\frac{\varepsilon_0}{\theta}},$$

qui conduit à la répartition de Wien.

2° $\frac{\varepsilon_0}{\Theta}$ est très petit. On a dans ce cas :

$$\bar{x} = \frac{\theta}{\varepsilon_0},$$

qui conduit à la répartition de Rayleigh valable aux très hautes températures. Il est intéressant de comparer l'énergie cinétique et l'énergie rayonnante dans cette hypothèse. On a les relations :

$$\frac{1}{2}(x\varepsilon_0) = \frac{1}{2}\theta = \left(\frac{1}{2}\overline{u^2}\right).$$

L'énergie rayonnante moyenne ne dépend plus de la fréquence : aux hautes températures il y a équipartition même entre fréquences différentes. L'énergie moyenne d'un paramètre cinétique est alors égale à la moitié de l'énergie moyenne d'un paramètre rayonnant; à une liberté cinétique correspondent deux libertés rayonnantes : les vecteurs électrique et magnétique.

99. Cherchons enfin l'entropie du système. On a :

$$\frac{\psi}{\theta} = N \log\left(1 - e^{-\frac{\varepsilon_0}{\theta}}\right) + E_0,$$

$$\frac{\overline{E}_\nu}{\theta} = \frac{1}{\theta}\frac{N\varepsilon_0}{e^{\frac{\varepsilon_0}{\theta}} - 1} + E_0,$$

d'où

$$-\overline{H} = \frac{N\varepsilon_0}{\theta}\frac{1}{e^{\frac{\varepsilon_0}{\theta}} - 1} - N \log\left(1 - e^{-\frac{\varepsilon_0}{\theta}}\right).$$

Elle ne dépend pas de E_0.

§ 12.

Remarques et Critiques

100. La formule de Stirling (1) donne :

$$\lim_{n=\infty} \frac{n!}{n^{n+\frac{1}{2}} e^{-n} \sqrt{2\pi}} = 1 ,$$

ce qui signifie qu'on peut substituer, dans un calcul où n est grand, le dénominateur au numérateur, et cela d'autant plus exactement que n est plus grand. C'est une formule d'approximation qui n'est valable rigoureusement qu'à la limite. L'erreur que l'on fait peut être évaluée approximativement par la formule (1).

Or, on trouve dans la littérature physique un raisonnement bizarre : « Si, dit-on, n est extrêmement grand, on peut négliger $\frac{1}{2}$ devant n et écrire n^n au lieu de $n^{n+\frac{1}{2}}$ ».

En faisant cette simplification, on a évidemment :

$$\lim_{n=\infty} \frac{n!}{n^n e^{-n} \sqrt{2\pi}} = \infty ,$$

ce qui montre l'absurdité dudit raisonnement.

Cependant, depuis Boltzmann, lorsqu'on veut déduire l'entropie de considérations de probabilités, on a toujours recours à cet artifice qui permet de se débarrasser d'un facteur gênant.

Montrons sur un exemple à quel non-sens peut conduire la seconde formule, la formule « tronquée ». Pour cela, calculons la probabilité de la répartition la plus probable des n_0 points dans le brassage simple, et comparons à la formule du n° 49. On trouve, avec la formule tronquée, la valeur

$$(2\pi)^{\frac{1-K}{2}} ,$$

qui *ne dépend pas* de n_0, ce qui est manifestement absurde.

101. Dans sa *Theorie der Wärmestrahlung,* M. Planck établit une relation entre les probabilités et l'entropie, en remarquant, d'une part, que l'éntropie de deux systèmes *indépendants* l'un de l'autre est égale à la somme $S_1 + S_2$ de leurs entropies, et que, d'autre part, en désignant par W_1 la probabilité d'un « état » Z_1 du premier système, et par W_2 la probabilité d'un « état » Z_2 du second système, la probabilité composée pour que les systèmes soient en même temps dans les « états » Z_1 et Z_2, est égale au produit $W_1 W_2$; en faisant, en outre, l'hypothèse que l'entropie est une fonction universelle de la seule probabilité :

$$S = f(W) ,$$

les conditions ci-dessus sont satisfaites si l'on prend :

$$f(W) = S = k \log W + \text{const} ,$$

k étant une constante. C'est l'équation connue sous le nom d'« équation de Boltzmann ».

Jusqu'ici, il n'y a aucune difficulté. Il ne s'agit, après tout, que d'un changement de variables. Les difficultés commencent lorsqu'on doit définir l'« état » Z.

M. Planck, comme Boltzmann, part du « désordre moléculaire ». Il énonce, à cet effet, l'*hypothèse physique* suivante :

« Dans la Nature, tous les états *(Zustände)* et tous les phénomènes *(Vorgänge)* qui comprennent un nombre énorme de composantes incontrôlables *(unkontrollierbare Bestandteile),* sont en désordre élémentaire *(elementar ungeordnet)* ».

Outre les remarques que nous avons déjà faites (n° 57) sur le « désordre moléculaire », il est intéressant de relever, dans cet énoncé, l'expression : « composantes *incontrôlables* », qui dénote la préoccupation d'introduire un élément d'*ignorance* pour justifier l'application des probabilités; il y a évidemment confusion entre la probabilité *subjective* (§ 3) qui repose sur l'ignorance, et la probabilité *objective* (§ 2), où l'ignorance ne joue aucun rôle : ce n'est certes pas parce qu'un physicien très perspicace nous révélerait les lois exactes des molécules de l'air, que le ciel cesserait d'être bleu !

En définitive, la méthode de M. Planck se ramène au brassage parfait; mais, alors que nous avons brassé les systèmes,

M. Planck brasse les molécules. Il distingue deux sortes d'états : le « micro-état », qui n'est autre chose que ce que l'on appelle habituellement *état,* c'est-à-dire tout système possible de valeurs des r paramètres, et le « macro-état », qui n'est autre chose qu'une *répartition globale* (n° 44) des molécules. C'est ce macro-état que M. Planck prend comme « état » Z.

Nous avons trouvé pour la probabilité d'une répartition globale de n_0 points :

$$\mathfrak{P} = \frac{1}{K^{n_0}} \frac{n_0!}{n_1!\, n_2! \ldots n_K!} .$$

M. Planck n'écrit pas cette expression ; il n'en considère que le second facteur qui lui donne ce qu'il nomme la « probabilité thermodynamique » :

$$W = \frac{n_0!}{n_1!\, n_2! \ldots n_K} ;$$

elle est toujours plus grande que l'unité, différant en cela de la probabilité des mathématiciens.

M. Planck applique à W la formule tronquée, pose $w = \frac{n_i}{n_0}$, et parvient ainsi à mettre l'équation de Boltzmann sous la forme :

$$S = -kn_0 \sum w \log w + \text{const} .$$

Aux constantes près, cette expression est identique à celle que nous avons désigné par H. La quantité w (Verteilungsdichte) n'est pas autre chose que notre probabilité d'état $\mathfrak{p}$.

Comme Einstein l'a déjà fait remarquer, M. Planck postule implicitement et sans justification aucune, l'*égale probabilité* de tous les états par lesquels passe le système, celui-ci étant supposé conservatif (cf. n° 82). En d'autres termes, ces états doivent être « indépendants » les uns des autres, et M. Planck ne dit pas s'il en est ainsi.

Observons que l'on ne peut justifier l'abandon du facteur $\frac{1}{K^{n_0}}$ dans la formule de W, en supposant que ce facteur fait partie de la constante additive de la formule précédente. On

le voit aisément sur un exemple. Considérons un gaz monoatomique renfermé dans un récipient de volume V que nous diviserons en K_v cases d'égal volume υ; la partie de l'entropie relative au domaine $\mathfrak{D}_q$ contient le terme $n_0 \log \frac{V}{\upsilon}$; or, $K_v = \frac{V}{\upsilon}$; le facteur laissé de côté fournit donc un terme $n_0 \log \frac{V}{\upsilon}$ identique au premier : on ne peut le négliger.

(A suivre).

NOTE SUR LES

DIAGRAMMES SISMIQUES

du 13 janvier (Avezzano) et du 18 janvier 1915 (Suisse)

PAR

A. DE QUERVAIN

(Avec les planches II et III).

Suivant le désir qui nous a été exprimé, nous reproduisons ici, à titre de complément à notre note de janvier, les sismogrammes des deux derniers tremblements de terre qui ont attiré l'attention en Suisse.

Qu'il nous soit permis d'accompagner ces planches de quelques remarques.

Le sismogramme N° 1 de la planche II provient du grand tremblement de terre d'Avezzano du 13 janvier 1915, et représente la composante verticale du mouvement, enregistrée à l'observatoire de Zurich, avec un agrandissement de 100. Les sismogrammes N° 2 et N° 3 proviennent tous deux d'une secousse sismique qui s'est produite en Suisse cinq jours après, soit le 18 janvier, dans une région située entre Soleure, Bienne et Berthoud et qui a été ressentie dans une grande partie de notre pays. Le N° 2, mis à notre disposition par M. le Dr Arndt, a été enregistré à l'observatoire de Neuchâtel, par la composante E-W, avec un agrandissement d'environ 50 pour l'original, de 250 dans la reproduction. Le N° 3 a été enregistré à Zurich, par la même composante, agrandissement 160 fois; dans la reproduction, l'agrandissement est de 800.

En tenant compte de ces échelles très différentes et en comparant à l'œil le premier diagramme avec les deux autres, nous trouvons la confirmation de la constatation faite dans

notre premier article, à savoir que ce n'est pas la grandeur du mouvement qui est décisive pour la perception. Car les amplitudes très grandes d'Avezzano n'ont été ressenties nulle part en Suisse; le contraire a été le cas avec les amplitudes bien plus petites, mais beaucoup plus rapides du tremblement du 18 janvier.

En comparant le sismogramme d'Avezzano avec celui d'Asie mineure, reproduit en janvier, il faut se dire tout d'abord que pour le premier les mouvements de la composante E-W (trop agitée pour être reproduite) sont deux fois plus forts que ceux de la composante verticale, reproduite ici. Quand même, en tenant compte des distances et des intensités observées au foyer, on aurait certainement pu attendre pour le diagramme d'Avezzano des amplitudes encore plus grandes; mais on constate souvent que l'étendue des ébranlements microsismiques est en désaccord avec les effets superficiels, et on en conclut que la profondeur des vrais foyers est très différente, les plus grandes devant être admises de l'ordre de 100 km. Suivant la récente classification de MM. Rudolph et Scirtes, les foyers de l'Italie, bien que souvent d'un effet local terrible, ne rentrent pas dans cette classe, puisqu'ils n'ébranlent jamais le globe entier.

L'influence de la profondeur du foyer se révèle aussi très nettement dans les observations macrosismiques. La planche III en donne un exemple très frappant tiré de nos recherches récentes sur le tremblement de terre de Granges (près Soleure, Suisse). Le percement du tunnel y a produit, par suite d'un déversement de réservoirs d'eau souterrains très importants, surtout le 2 et le 11 nov. 1913, des secousses sismiques assez fortes. Mais comme le foyer était nécessairement très superficiel, on voit que l'intensité décroît très vite vers la périphérie, si on la compare à un tremblement de terre tectonique à foyer plus profond, comme celui du 10 déc. 1913, étudié également par nous, et dont nous reproduisons à côté les isoseistes, à la même échelle.

Notre diagramme d'Avezzano montre encore quelques particularités dignes d'attention.

Si nous cherchons à y distinguer la phase S qu'on peut si bien

retrouver dans N°s 2 et 3, nous serons embarrassés. Déjà au point désigné par P nous trouvons un changement d'allure. Les recherches de M. Mohorovicic ont prouvé, il y a quelques années, que cette phase P se trouve dans les diagrammes de tous les foyers distants de 160 à 800 km. Suivant l'hypothèse bien plausible de ce savant, il y aurait à 50 km. de profondeur, un accroissement subit de vitesse, qui permettrait aux ondes longitudinales indirectes, descendues plus profondément, d'arriver au moment P, même avant les ondes longitudinales directes, qui arriveraient à $\overline{P}$.

Revenant à notre sismogramme, nous restons dans l'embarras aussi pour la partie suivante. Deux intersections au moins semblent s'offrir pour la désignation S, mais aucune ne correspond à la vitesse des ondes transversales.

Les recherches de M. Hecker et de ses collaborateurs du Bureau international de Strasbourg viennent de signaler des difficultés analogues dans leur travail très important sur le tremblement de terre de l'Europe centrale du 16 nov. 1911. Ils admettent, d'après les recherches de M. Rudzki, que pour les couches parcourues par les ondes des foyers relativement voisins (c'est-à-dire situés plus près qu'environ 1000 km.), la condition de l'isotropie élastique n'est pas suffisamment bien remplie. Au lieu des deux ondes P et S, il peut alors s'en former plusieurs.

L'interprétation du sismogramme se compliquera également quand, au lieu d'une seule secousse principale, il y en a plusieurs, se succédant à des intervalles très rapprochés. Une explication de ce genre n'est pas exclue en principe pour notre cas. Mais les renseignements que le Bureau central de Rome veut bien nous donner prouvent qu'il n'y a eu qu'une seule secousse, d'une durée de 5 secondes au plus.

Les tremblements de terre d'Italie présentent toujours pour nous un intérêt particulier, non seulement par leur foyer, mais par ce que leurs ondes qui passent sous les Alpes, pourront nous instruire un jour sur les anomalies de densité qui existeraient dans les profondeurs de ces chaînes.

NOUVELLES RECHERCHES

SUR LES

FERMENTS OXYDANTS

PAR

R. CHODAT [1]

VII

De l'Action de l'Acide Carbonique sur la Tyrosinase

PAR

R. Chodat et K. Schweizer

Dans un article paru ici même [2], nous avons montré les premiers que la tyrosinase agit sur les acides aminés en les désamidant, libérant de l'ammoniaque et de l'acide carbonique et les ramenant à un aldéhyde (produit d'oxydation) qui contient un atome de carbone en moins. Nous avons montré que la preuve expérimentale de cette théorie nouvelle de la fonction de la tyrosinase se laisse particulièrement bien démontrer en ce qui concerne le glycocolle et le phénylglycocolle, le premier fournissant de l'aldéhyde formique, le second, du benzaldéhyde immédiatement reconnaissable à sa forte odeur d'essence d'amandes amères.

Cette théorie nouvelle a tout de suite été acceptée, mais

[1]) Voir *Archives,* 1907 (I-III), 1912 (IV et V), 1913 (VI).
[2]) *Ibid.* La tyrosinase est aussi une desamidase (1913).

on y a mêlé, bien à tort, une seconde conception qu'elle ne comporte pas nécessairement. Tout en reconnaissant, après nous, la fonction desamidase de la tyrosinase, la libération d'ammoniaque et la production d'un aldéhyde à un atome de carbone en moins, on a prétendu [1] que la tyrosinase serait un mélange d'une aminoacidase (nous disions desamidase) et d'une « phénolase ordinaire ».

Disons tout de suite que nous ne sommes pas partisans de réformes hâtives dans la nomenclature des ferments. Ce que certains appellent aujourd'hui « phénolase ordinaire » n'est autre chose que l'oxydase bien connue de Yoshida, la laccase de Bertrand. Or, n'est-il pas certain que cette laccase oxyde aussi l'acide iodhydrique qui n'est pas, que nous sachions, un phénol. Il vaut donc mieux lui laisser son nom historique qui, à défaut d'autres, a au moins le mérite de la priorité.

De même pour la tyrosinase. Le ferment de Bourquelot et Bertrand est bien défini par rapport à la tyrosine qui reste l'un de ses meilleurs réactifs. Personne ne sait encore ce qui se passe du moment où la tyrosine est désamidée, selon notre théorie, jusqu'à la phase mélanine caractérisée par le pigment noir bien connu.

Mais ce que nous savons c'est que la tyrosinase, telle que nous la comprenons, n'est pas un mélange d'aminoacidase (desamidase) et de « phénolase ordinaire » (laccase). Rappelons que nous avons préparé à partir des champignons une tyrosinase qui n'a plus ni propriété laccase ni même propriété peroxydase [2], qui donc n'oxyde directement ni le gaïac, ni les autres réactifs spécifiques de la laccase, qui ne donne plus en présence du p. crésol le précipité blanc laiteux si caractéristique pour le ferment de Bertrand, alors qu'il oxyde le p. crésol de la manière que nous avons décrite en plusieurs Mémoires.

On trouve parfois les deux oxydases mélangées, laccase et tyrosinase, comme dans certains champignons. On peut alors favoriser l'action de la laccase par l'acidification tout en abolis-

[1] A. Bach, *Biochem. Zeitschr.*, 60 (1914), 221 et *Fermentforschung*, I, 1915, 151.

[2] R. Chodat, Oxydationsfermente in (Abderhalden), *Handb. d. bioch. Methoden*, 3, I (1910), 57.

sant celle de la tyrosinase qui ne supporte pas les milieux acides. De même notre tyrosinase de pomme de terre n'a plus d'action laccase. Il n'est donc pas permis de dire que la tyrosinase est un mélange d'aminoacidase (desamidase) et de « phénolase ordinaire » (laccase).

Il a été dit, dans d'autres travaux précédents, que la tyrosinase est excessivement sensible à l'action des acides, son action oxydante étant supprimée par ces derniers. Nous avons trouvé maintenant que l'acide carbonique lui même a une action inhibitoire remarquable. Si l'on fait barboter dans un mélange de p. crésol, de glycocolle et de tyrosinase, de l'acide carbonique pur, soigneusement lavé, on remarque que la réaction rouge, qui dans les cas ordinaires commence à se faire au bout de 15′ n'a pas lieu même après une demi-heure ; elle ne se fait pas non plus si on cesse de conduire l'acide carbonique. On s'est servi pour ces expériences du mélange qui fournit le crésol-azur selon la méthode de Chodat [1].

9 ccm. glycocolle ($^{0,75}/_{250}$), 3 ccm. p. crésol ($^{1}/_{250}$) et 2 ccm. tyrosinase ($^{0,05}/_{20}$ ccm. eau).

Nous avons soumis ce mélange pendant 5′, 15′, 1 h. à l'action du CO_2 et tandis que le mélange contrôle rougissait normalement puis passait aux teintes intermédiaires qui aboutissent bientôt au crésol-azur bleu, avec dichroïsme rouge, les dites expériences exposées à l'air n'ont rougi que très tardivement et n'ont pas passé aux teintes intermédiaires ni par conséquent au crésol-azur.

Nous avons voulu voir sur lequel des membres de ce mélange l'acide carbonique avait une action inhibitoire.

A. Dans une première série, nous avons tout d'abord exposé la tyrosinase et le glycocolle dans les proportions indiquées pendant 1 h. à l'acide carbonique ; après ce traitement on prépare un mélange contrôle de tyrosinase, de glycocolle et de p. crésol et on ajoute, au même moment, le p. crésol manquant au premier flacon. Au bout d'une heure le flacon contrôle a fortement rougi, l'autre ne montre aucune altération de couleur.

[1]) R. Chodat, Nouvelles recherches sur les ferments oxydants, IV et V, *Archives,* IVe période, XXXIII (1912), 70-95, *ibid.* (1912), 225-348.

B. Dans une seconde série, nous avons traité la solution de p. crésol pendant 1 h. par le CO_2 et on ajoute alors le glycocolle et la tyrosinase. Au bout de 30′ les deux essais, contrôle et expérience, se colorent de même en rose; au bout de 48 h. il y a, dans les deux, formation de crésol-azur.

Ainsi le glycocolle n'a pas protégé la tyrosinase, et la quantité de CO_2 qui, dans le liquide au p. crésol, a été la même que dans les autres essais, n'a pas empêché le rougissement du mélange si la tyrosinase et le glycocolle ont été ajoutés après le traitement par le CO_2.

C. Les mêmes expériences ont été faites en soumettant la tyrosinase seule à l'action du CO_2. Les résultats sont conformes à l'expectative: tandis que le contrôle rougit au bout de 15′ l'essai reste inaltéré et ne rougit qu'au bout de 3 h., alors que le contrôle est déjà bleu-violet.

Il ne s'agit pas d'ailleurs dans cette action du CO_2 sur la tyrosinase d'une altération du ferment car on peut, par simple agitation prolongée, dissocier cette combinaison (adsorption) et ramener plus ou moins la tyrosinase à l'état normal !

On peut, d'ailleurs, protéger la tyrosinase par un courant d'hydrogène. Si le mélange, ou la tyrosinase seule, ont été traités par un courant continu de ce gaz pendant assez de temps, par exemple pendant 24 h., l'action du CO_2 pendant 1 h. c'est-à-dire pendant le temps qui suffisait précédemment à inhiber la réaction, n'a plus d'action et le crésol-azur se fait normalement. Si l'hydrogène n'a barboté que pendant une heure, on obtient après traitement pendant 1 h. par l'acide carbonique une teinte rose qui ne va pas plus loin ; par un traitement de 4 h. à l'hydrogène, dans les mêmes conditions, la couleur va jusqu'au rouge avec fluorescence verte.

C'est un fait bien connu que lorsque la proportion du CO_2 augmente dans l'atmosphère la respiration dite normale, aérobie est entravée ; alors commence la respiration anaérobie (souvent nommée intramoléculaire) avec dislocation des molécules, et si le sucre est présent, avec formation d'alcool. Dans la pratique du maltage on sait que cette modification se fait déjà remarquer lorsque la quantité de CO_2 n'est encore que de 7 %.

Une autre question nous a également préoccupés, savoir dans quelle mesure le travail d'oxydation est précédé par des phénomènes préparatoires, sans doute de l'union, d'une combinaison du ferment avec la substance fermentescible pour laquelle réaction il faut un temps déterminé.

Si pendant 1 heure on traite le mélange tyrosinase, p. crésol et glycocolle par un courant d'hydrogène, on ne voit se faire pendant ce temps aucune altération de couleur, le liquide reste incolore et limpide. Comme il suffit de 30′ pour obtenir une belle coloration rose, l'hydrogène a donc manifestement empêché le phénomène d'oxydation.

Si maintenant on expose à l'air l'expérience en même temps qu'un essai contrôle préparé de manière à rendre les deux expériences concordantes pour ce qui est du début de l'action de l'oxygène, on voit alors que l'expérience, où les masses ont été en présence pendant 1 heure mais où l'oxydation a été rendue impossible par le courant d'hydrogène, rougit déjà fortement au bout de 5 minutes, alors qu'il faut au contrôle 30 minutes pour commencer.

On voit donc clairement qu'il y a eu une action préparatoire, sans doute une combinaison du ferment à la substance fermentescible.

VIII

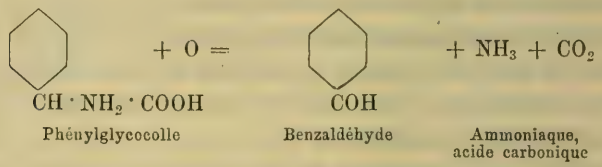
De la produgtion du Benzaldéhyde par la Tyrosinase

PAR

R. Chodat et K. Schweizer

Comme il a été démontré plus haut, l'action de la tyrosinase sur les acides aminés a été de les désaminer dégageant de l'ammoniaque et de l'acide carbonique et de les oxyder en un aldéhyde à un atome de carbone en moins que le produit de départ.

Parmi ces acides aminés, le phénylglycocolle se prête admirablement à la vérification de cette théorie. En effet ce corps, difficilement soluble, ne donne aucune odeur par lui même mais si, selon notre théorie il est ramené à un aldéhyde du type indiqué, cet aldéhyde ne peut être que le benzaldéhyde ou essence d'amandes amères.



Dans le mélange cité plus haut on substitue au glycocolle le phénylglycocolle ($^{1,5}/_{250}$) en quantité équimoléculaire. Au bout de 12 heures on recherche l'ammoniaque dans le distillat par le réactif de Nessler ou le réactif de Trilliat.

On obtient une réaction positive. La présence du benzaldéhyde se trahit par une forte odeur d'amandes amères.

La peptone additionnée à nos essais, dans la proportion de $^{5}/_{250}$ a une action franchement retardatrice sur la production du crésolazur et la formation de l'aldéhyde formique, à partir du glycocolle ou de l'aldéhyde benzoïque à partir du phénylglycocolle ; il en est de même du glycose, qui ralentit la désamidation du glycocolle par la tyrosinase ([1]).

Comme dans les plantes vertes, la tyrosinase apparaît habituellement dans les feuilles, la présence d'aldéhyde formique dans le végétal chlorophyllé, pourrait aussi être ramené à une action de ce ferment oxydant sur l'acide aminé, le glycocolle ou sur des produits de dégradation des matières protéiques contenant cet acide aminé en liaison de polypeptide. Nous nous sommes assurés que la plupart des plantes vertes contiennent de la tyrosinase. On pourrait donc se demander dans quelle mesure le pigment chlorophyllien pourrait intervenir dans le phénomène de la désamidation des acides aminés par la tyrosinase.

Tout d'abord, nous avons voulu, par nous même, nous assurer

[1]) R. Chodat et K. Schweizer, Ueber die desamidierende Wirkung der Tyrosinase, *Biochem. Zeitsch.*, 57 (1913), 433.

de la présence de l'aldéhyde formique dans la plante verte sous l'influence de la lumière. On sait que c'est là une question encore discutée. A cet effet nous avons choisi une plante qui contient de la tyrosinase en quantité appréciable, un gros Pavot horticole à fleurs rouges, cultivé dans notre petit jardin universitaire. On a enveloppé une feuille de cette plante le soir à 5 h. et on a laissé ce capuchon de papier noir jusqu'au lendemain à 2 h. de l'après midi. La journée était radieuse, sans nuage. On a pris alors de la feuille obscurcie, comme d'une feuille illuminée, de la même plante, des morceaux semblables comme situation (5 gr.); ces portions de feuille ont été broyées dans un mortier avec 40 ccm. d'eau et immédiatement distillées. On recevait le distillé dans 10 ccm. d'eau. La feuille éclairée fournit une faible réaction rose formaldéhyde avec le réactif de Schryver, l'autre ne donne aucune teinte rose. Cet essai a été répété et avec le même résultat. La conclusion la plus plausible est que cet aldéhyde formique provient de la photolyse du CO_2 et de l'eau. Mais nous savons maintenant que l'aldéhyde formique peut provenir d'autres sources et tout particulièrement du glycocolle, sous l'influence de la tyrosinase. Les essais suivants montrent que dans ce phénomène la chlorophylle peut jouer un rôle important. On a extrait selon les méthodes habituelles des feuilles vertes de Graminées; l'extrait chlorophyllien a été laissé à l'obscurité évaporer sur des morceaux de craie pure. On utilise ces morceaux imprégnés de chlorophylle et parfaitement secs.

On sait que, déjà dans la lumière intense, une solution de glycocolle fournit des traces d'aldéhyde formique. L'addition de chlorophylle en l'absence de CO_2 n'accélère pas cette réaction d'une manière appréciable. Mais si on ajoute de la tyrosinase, on voit que tant à la lumière qu'à l'obscurité, la chlorophylle accélère énormément cette réaction. Alors que sans chlorophylle, en utilisant le réactif de Schryver la réaction est rose, en présence du pigment vert la couleur est rouge fuchsine, ce qui correspond à une énorme augmentation du formaldéhyde.

Nous avons de même examiné le rôle de la chlorophylle dans

[1]) Neuberg, *Biochem. Zeitschr.*, 17 (1909), 270.

la désamidation du phénylglycocolle par la tyrosinase. Tous nos essais ont été rendus stériles par l'addition de toluol ou d'éther. Ici encore la production du benzaldéhyde est fortement augmentée !

Tout ce qui précède a un intérêt singulier pour le physiologiste et explique l'origine probable du benzaldéhyde à partir des matières protéiques et de leurs produits d'hydrolyse. Il est probable que la chlorophylle intervient dans cette réaction en raison de son action réductrice.

IX

De l'Emploi de la Peroxydase comme réactif de la Photolyse par la Chlorophylle

PAR

R. Chodat et K. Schweizer

Dans un Mémoire récent, M. H. Wager soutient que sous l'influence de la lumière, la chlorophylle se décompose, en fournissant un aldéhyde ou un mélange d'aldéhydes et un agent capable de dégager l'iode de l'iodure de potassium. Dans cette photolyse les radiations rouges l'emportent sur les bleues. Pour Wager le peroxyde produit ne paraît pas être le peroxyde d'hydrogène; il serait un peroxyde organique dérivé de la chlorophylle.

Quant à l'anhydride carbonique, il ne serait d'aucune importance dans cette réaction obtenue en dehors de l'organisme.

Tout ceci est en contradiction avec un ensemble de travaux

[1]) The action of light on chlorophyll, *Proceed. of the royal Soc. Lond.* ser. B., vol. LXXXVII, 1914.

publiés dans le même recueil par MM. Usher et Priestley[1] ou par M. Schryver [2] de même que par M. Harvey Gibson [3], lesquels affirment que dans leurs expériences l'aldéhyde formique ne se forme qu'en présence de l'anhydride carbonique ou s'il manque n'apparaît que dans une proportion minime.

Nous avons nous même [4] publié une note sur la formation du formaldéhyde dans la plante verte, confirmant par là d'anciennes expériences de Polacci [5]. Mais nous avons montré aussi que l'aldéhyde formique peut provenir de la décomposition du glycocolle par le ferment oxydant, la désamidase c'est-à-dire la tyrosinase. Nous avons aussi montré plus haut le rôle de la chlorophylle dans la désamidation suivie de la formation d'aldéhydes par la tyrosinase.

Cet ensemble de recherches contradictoires nous a engagés à revoir toute cette question et par de nouvelles méthodes.

A cet effet nous avons extrait la chlorophylle de feuilles vertes, pendant l'hiver; cette extraction s'est faite à l'obscurité et par l'alcool. On a séparé au moyen de la benzine, selon la méthode de Hoppe-Seyler. La solution de chlorophylle brute est laissée évaporer sur des assiettes en verre contenant du carbonate de calcium pur. On obtient ainsi une poudre verte à grande surface pouvant servir de feuille artificielle.

On se sert d'éprouvettes remplies aux deux tiers d'eau pure à laquelle on ajoute une quantité dosée (0,5 gr.) de la craie chlorophyllée. De temps à autre on secoue l'éprouvette.

Dans une première série d'expériences faites avec de l'eau chargée d'acide carbonique, les unes consistant en éprouvettes placées, les premières (A) à la lumière, les autres (B) à l'obscurité, on reconnut que, à la lumière il se forme des quantités appréciables d'aldéhyde formique, tandis qu'à l'obscurité il ne s'en forme pas.

[1]) *Roy. Soc. Proc.*, 1906, *ibid.*, LXXXIV (1911), 101.
[2]) *Roy. Soc. Proc.*, 1909.
[3]) *Annals of Bot.*, 1907.
[4]) R. Chodat et K. Schweizer, Ueber die desamidierende Wirkung der Tyrosinase, *Biochem. Zeitschr.*, 57 (1913), 434.
[5]) *Institut Bot. d. Real Univ. di Pavia*, 1902.

La recherche de l'aldéhyde se faisait tout d'abord au moyen du nitrate d'argent ammoniacal (anciennes recherches de R. Chodat), plus tard dans ces dernières expériences par le réactif de Rimini modifié par Schryver. Ces expériences ont été répétées plusieurs fois et toujours avec le même résultat. L'addition de magnésie ralentit et même supprime la formation d'aldéhyde formique. L'addition du catalyseur Fe_2Cl_6 (0,01 ‰) n'a eu non plus aucun effet accélérateur.

Série A. Chlorophylle sans acide carbonique.
» B. Chlorophylle et eau saturée d'acide carbonique.
» C. Acide carbonique saturant l'eau sans chlorophylle.

Comme il a été dit, la lumière est nécessaire. Les résultats ont été les suivants : après 48 h. d'exposition : A. réaction nulle ; B. franchement rosé ; C. nulle. Après 3 jours : A. réaction faible, teinte rose pâle ; B. réaction beaucoup plus forte, rose ; C. réaction nulle.

Ainsi la présence du CO_2 favorise clairement la réaction ; il n'y a aucun doute que la présence de cette combinaison est nécessaire à la réaction. Le résultat positif donné par la chlorophylle seule s'explique aisément ; pendant la préparation de l'extrait et pendant l'exposition à l'air, une faible quantité de CO_2 est absorbée par la chlorophylle ce qui explique la production de traces de formaldéhyde.

On se souvient que d'aprés la théorie d'Usher et Priestley le phénomène de la photolyse du CO_2 par la chlorophylle aboutirait non seulement à la production de formaldéhyde mais aussi à celle d'eau oxygénée [1].

S'il en est ainsi, la quantité de H_2O_2 doit être proportionnelle à celle du formaldéhyde produit, c'est-à-dire que si on divise les liquides filtrés et séparés de la craie chlorophyllée en deux moitiés, les intensités des réactions relatives au formaldéhyde et à l'eau oxygénée doivent être parallèles.

Pour rechercher l'eau oxygénée, nous nous sommes servis : 1° d'un corps oxydable par le système peroxyde-peroxydase

[1] Selon M. A. Bach, la première phase de l'assimilation du carbone se ferait par la production de l'acide percarbonique ; ici le peroxyde se forme par dégagement d'oxygène actif au cours de la photolyse.

(Pyrogallol, Emulsion de gaiac, p. Crésol, etc.) ; 2° de peroxydase.

A une solution de 2 % de pyrogallol on ajoute 0,01 de peroxydase pour 3 ccm. de solution. La peroxydase n'a aucune action sur le pyrogallol préparé fraîchement, la réaction jaune puis brune n'a lieu qu'en présence d'eau oxygénée ou d'un peroxyde soluble. Il en est de même de l'émulsion de résine de guaiac fraîche (préparé au moyen d'un morceau de résine non oxydée!) qui ne bleuit pas en présence de la peroxydase, mais vire au bleu après addition de H_2O_2. On sait que le p. crésol, dans les mêmes conditions, fournit un trouble laiteux. Si donc il s'est formé dans le liquide en expériences de l'eau oxygénée, elle doit provoquer ces réactions et ceci proportionnellement à sa concentration.

C'est ce qui a justement lieu : là où l'expérience fournit le plus d'aldéhyde formique, elle donne une réaction correspondante sur les leucobases additionnées de peroxydase :

Chlorophylle seule une très faible réaction. Chlorophylle et acide carbonique une forte réaction. Acide carbonique sans chlorophylle aucune réaction.

Ainsi nos expériences viennent infirmer la critique de M. H. Wager et confirment pleinement celle de MM. Usher et Priestley savoir que dans la photolyse le peroxyde d'hydrogène accompagne nécessairement la production d'aldéhyde formique. Il est donc facile de démontrer que ces deux phénomènes marchent parallèlement.

Dans la feuille, le peroxyde d'hydrogène est constamment décomposé par la catalase. Le dégagement de l'oxygène moléculaire est par conséquent un phénomène secondaire. Cette théorie est fortement supportée par les constatations qui ont été faites par M. Freedericksz [1] dans le laboratoire de M. R. Chodat, à propos du Rôle physiologique de la catalase. On a étudié, dans ce travail entre autres, la distribution de la catalase dans les parties vertes et blanches des feuilles panachées, d'*Aspidistra,* d'*Acer Negundo* et d'autres. Ce sont les plantes

[1]) Travaux de l'Institut botanique, Université de Genève, 8me série, VIme fascicule.

vertes qui sont toujours plus riches en catalase. Chez les *Aspidistra* panachés, par exemple, on a trouvé :

10 ccm. d'extrait de la partie verte + 10 ccm. de H_2O_2 à 1 %		10 ccm. d'extrait de la partie blanche + 10 ccm. de H_2O_2 à 1 %	
Minutes	O_2 dégagé	Minutes	O_2 dégagé
2′	1.6	2	0.9
4′	2.4	4	1.6
6′	3.4	6	2.5

D'autre part, chez les plantes étiolées, c'est-à-dire cultivées dans l'obscurité complète et blanchies, la quantité de catalase est très sensiblement inférieure à celle des mêmes plantes qui ont verdi à la lumière. Pour le *Pisum sativum* le rapport a été de $^{0,9}/_{6,2}$ ou de $^{2,5}/_{10,0}$, pour le *Zea Mays* de $^{2,4}/_{4,2}$.

Il semble donc bien résulter de cet ensemble de recherches que :

1° la chlorophylle en présence du CO_2 produit de l'aldéhyde formique, dans la lumière ;

2° dans ces mêmes conditions, elle produit proportionnellement de l'eau oxygenée.

3° la peroxydase est un réactif précieux pour suivre la marche de la photolyse du CO_2 et de l'eau par la chlorophylle (in vitro).

4° la catalase des feuilles vertes sert à décomposer l'eau oxygénée, produit accessoire de la photolyse au cours de laquelle l'oxygène atomique apparaît.

Ainsi se précise de plus en plus le rôle essentiel des ferments oxydants et de la catalase dans la vie du végétal.

Genève, Mars 1915.
Institut botanique de l'Université.

LES

CÉVENNES MÉRIDIONALES

(MASSIF DE L'AIGOUAL)

ÉTUDE PHYTOGÉOGRAPHIQUE

PAR

Josias BRAUN

(Suite[1])

Sous-associations des murs

Les murs bâtis, station artificielle, se rattachent étroitement aux associations rupestres; ils n'ont en propre aucune espèce caractéristique. La plupart des caractéristiques rupestres, notamment toutes celles de l'association à *Antirrhinum Asarina*, croissent aussi sur les murs, témoignant de conditions stationnelles semblables. La végétation diffère cependant entre mur et rocher; certains végétaux dispersés et rares sur les rochers forment des peuplements sur les murs *(Parietaria ramiflora, Carex longiseta)* ou du moins y apparaissent plus abondamment *(Sedum hirsutum, Umbilicus, Saxifraga hypnoides). Oxalis corniculata, Geranium rotundifolium, Linaria Cymbalaria* manifestent une prédilection certaine pour les murs; ils manquent presque absolument sur les rochers.

L'évolution et la succession de la flore de certains murs sont à peu près les mêmes que sur le rocher, mais les stades se suc-

[1]) Voir *Archives*, 1915, t. XXXIX, p. 72, 167, 247.

cèdent bien plus rapidement sur le mur, en raison de sa faible résistance à la désagrégation. L'optimum de développement de la flore murale à peine atteint, la station est envahie par des ubiquistes praticoles; puis arrive le gazonnement complet ou l'écroulement du mur. Souvent — si les pierres ne sont pas bien posées et les fentes par conséquent trop larges — des végétaux d'associations toutes différentes s'y installent dès le début, supprimant ainsi le caractère spécial de la station. L'étude approfondie de la végétation des murailles jetterait aussi de la lumière sur l'évolution des associations rupestres, évolution généralement trop lente pour permettre d'en suivre de près le développement. Une pareille étude entreprise dans un pays où l'étendue des murs est telle qu'ils donnent à certains paysages leur physionomie spéciale (Vallée de l'Hérault, de l'Arre), donnerait des résultats intéressants.

Suivant la nature des pierres employées, la flore des murailles se rattache mieux à l'une ou à l'autre des associations rupestres. Il convient donc de distinguer comme deux sous-associations différentes, les *murs siliceux à Sedum hirsutum et Saxifraga hypnoides* et les *murs calcaires à Asplenium Ruta muraria.*

L'installation et la physionomie de la végétation murale diffèrent également suivant qu'il s'agit de murs en pierre sèche ou bâtis au mortier. En tenant compte de ce fait, on parvient souvent à apprécier l'âge approximatif d'un mur d'après sa flore.

Voici quelques relevés floristiques de *murs* du type siliceux, d'âge différent, construits *en pierres sèches,* qui démontrent l'enrichissement successif de leur végétation.

N° 1. La Clauzelle (V. de l'Hérault), 300 m.
» 2. Près du Mazel, 350 m.
» 3. Vallon de Berthezène, 380 m.
» 4. En aval du hameau de Mallet, 450 m.
» 5. Gradins au-dessus de Valleraugue, 450 m.

Les relevés 1-3 montrent le développement successif de l'association ; en 4 la végétation murale atteint son maximum de développement, en 5, elle l'a dépassé : le gazonnement commence. Il débute par l'extension considérable des touffes com-

pactes de *Carex longiseta* et se termine par l'établissement de Graminées sociales (*Brachypodium pinnatum*, *Dactylis glomerata*, etc.). Ce petit tableau résume donc tout un cycle d'évolution.

NUMÉRO DU RELEVÉ	1	2	3	4	5
ALTITUDE M. S. M.	300	350	380	450	450
AGE APPROXIMATIF DU MUR, ANS	±10	c. 50	c. 50	60	±100
Umbilicus pendulinus	1	1	2	3	2
Asplenium Trichomanes	1	2	...	1	1
Sedum hirsutum	...	2	...	3	2
Saxifraga hynoides	...	1	...	2	2
Sedum rupestre	...	1	1	1	1
Ceterach officinarum	...	...	2	2	...
Polypodium vulgare	...	1	...	2	...
Asplenum septentrionale	...	...	...	1	1
Galium rotundifolium	...	...	2	1	...
Parietaria ramiflora	...	...	2	...	1
Sedum dasyphyllum	...	...	...	1	...
Oxalis corniculata	...	...	2	...	...
Carex longiseta	...	...	...	...	3
Antirrhinum Asarina	...	...	...	...	1-2
Lactuca viminea	...	...	...	...	1
Espèces accessoires et accidentelles	1	3	7	4	13

Les Bryophytes jouent un rôle assez important dans la colonisation des murs siliceux. Elles affectent une préférence visible pour les murs ombragés exposés au nord, où souvent elles préparent la station pour la colonisation par des végétaux supérieurs. Sur les murs siliceux près de Valleraugue (360 m.), nous avons observé surtout *Homalothecium sericeum* Br. eur., *Tortula inermis* (Brid.) A. R., *Bryum caespiticium* L.; puis *Bryum capillare* L., *Barbula revoluta* L., *Funaria mediterranea* Lindb., etc.

Polypodium vulgare et *Ceterach officinarum* sont les Fougères les plus fréquentes de nos murs siliceux. Le premier forme parfois une bande continue sur le couronnement des gradins (Mauerkronen) situé à fleur de terre et mouillé largement à chaque pluie. Le second, plus xérophile et moins exigeant vis-

à-vis de l'humidité est cantonné plus bas vers le milieu du mur où l'eau n'arrive que lors des fortes pluies, par ruissellement superficiel. De beaux exemples de cette zonation s'observent à Aulas, Avèze et Valleraugue. Le bas et le pied des murs siliceux régulièrement pénétrés par les eaux de capillarité sont la station préférée du gracieux *Grammitis leptophylla*.

Les *murs au mortier* se rencontrent seulement aux lieux habités et dans leur voisinage. La flore, d'ailleurs très semblable à celle des murs de pierres sèches, acquiert un trait spécial par l'abondance de *Parietaria ramiflora* qui couvre souvent des murs entiers de sa verdure grisâtre. Cette espèce révèle une dépendance frappante à l'égard des sites humains; elle y croit avec d'autant plus de vigueur qu'elle y trouve plus de matières azotées. Et dans les hameaux perdus des Cévennes, sans police hygiénique, où on laisse assez souvent encore s'écouler les eaux de cuisine et autres le long du mur de la maison, une bande plus ou moins large de *Parietaria* indique la voie suivie par les eaux polluées.

Çà et là des plantes potagères *(Petroselinum, Lactuca sativa)* viennent s'installer parmi la flore rupestre murale. Voici quelques exemples typiques de murs au mortier.

Ils proviennent :

N° 1. D'Aumessas, 460 m., ancien mur d'habitation.

NUMÉRO DU RELEVÉ	1	2	3	4
ALTITUDE M. S. M.	460	700	350	700
Parietaria ramiflora	+	+	+	+
Umbilicus pendulinus	+	+	+	+
Antirrhinum Asarina	+	...	+	+
Sedum dasyphyllum	+	+	...	+
Asplenium Trichomanes	...	+	...	+
Ceterach officinarum	+	...	...	+
Polypodium vulgare	...	+	...	+
Sedum album	...	...	+	+
Arenaria leptoclados	...	...	+	+
Petroselinum sativum	...	+	+	...
Campanula Erinus	...	...	+	+
Espèces accessoires et accidentelles	0	3	7	7

N° 2. Pratcoustal, 700 m., voûte ombragée d'une ancienne maison.

N° 3. Le Mazel, 350 m., vieux murs de jardins et d'habitations.

N° 4. Pratcoustal, 700 m., mur d'une maison, exposée au nord.

Les murs adossés des terrasses de culture portent toujours une flore mieux développée que les murs isolés ou en contact avec la terre par la base seulement. La répartition de la végétation murale fournit un moyen infaillible de déterminer le contact du mur avec le sol. Pour savoir à quelle hauteur se trouve le niveau du sol en arrière d'un mur, il suffit d'observer en avant à quelle hauteur la végétation a son développement optimum. Une ligne *(a)* bien marquée de *Parietaria* indique le contact du mur avec le sol. En voici deux exemples provenant de notre dition :

La partie supérieure du mur au-dessus du niveau de la terre n'a que le seul *Ceterach officinarum*. La ligne *a* se révèle par un peuplement de *Parietaria*, nettement limité vers le haut, s'éclaircissant vers le bas. La partie située au-dessous de la surface qu'atteint le sol en arrière du mur possède dix-neuf espèces, dont voici les plus communes :

Parietaria ramiflora	*Campanula Erinus*
Bromus madritensis	*Hordeum murinum*
Ceterach officinarum	*Lepidium gramini folium*
Oxalis corniculata	*Geranium rotundifolium*

A Aulas, un mur pareil nourrit dans sa partie supérieure sèche *(a)* la flore suivante :

Sedum acre (fréq.)	*Poa bulbosa*
Ceterach officinarum	*Scleropoa rigida*
Sedum dasyphyllum	*Geranium rotundifolium*
— *album*	*Senecio vulgaris*
Umbilicus pendulinus	*Cardamine hirsuta*

en individus peu nombreux. La partie *b* possède vingt espèces; *Parietaria* y forme des peuplements entremêlés de *Sedum acre*, *Scleropoa rigida*, *Campanula Erinus*, *Lepidium graminifo-*

lium, etc. Ces exemples montrent assez l'influence capitale de l'humidité sur la colonisation de murs par les végétaux. Je ne peux cependant pas passer sous silence une observation faite au Vigan (230 m.) sur un mur au mortier, isolé, haut de deux mètres environ. Un peuplement presque pur de *Poa bulbosa* s'est installé sur le faîte horizontal, avec quelques individus seulement de *Cerastium semidecandrum*, *Arenaria serpyllifolia* v. *leptoclados*, *Sedum acre*, *S. album*, *Bromus tectorum*, *B. madritensis*, *Diplotaxis muralis* et *Crepis taraxacifolia*. La paroi du mur abrite à sa partie supérieure *Ceterach* (fréq.), *Sedum acre* (fréq.), *S. dasyphyllum* et les petites Bryophytes *Encalypta vulgaris* et *Bryum torquescens*. Ces plantes reçoivent peu de pluies directes, elles sont alimentées presque exclusivement par le ruissellement le long du mur. Au-dessous de 1m,50 de hauteur, où les eaux de ruissellement parviennent rarement, la paroi est pour ainsi dire dépourvue de végétation.

Les *murs* bâtis en pierres *calcaires* type *à Asplenium Ruta muraria* représentent une sous-association des rochers à *Potentilla caulescens* et *Saxifraga cebennensis*. Ils portent le plus souvent la petite Fougère *Asplenium Ruta muraria*, espèce essentiellement calcicole; en outre bon nombre de caractéristiques de l'association mère comme *Saxifraga cebennensis*, *Linaria supina* (rares toutes deux), *Linaria origanifolia*, *Ceterach*, *Sedum* spec. div., et d'autres. Nous n'y avons cependant jamais observé les *Potentilla caulescens*, *Alyssum spinosum*, *Arenaria capitata*, *Erinus alpinus*, *Stipa juncea*.

Voici deux exemples de murs calcaires au mortier; le premier situé sur le versant méditerranéen à Laussou-sur-Bez (450 m.), possède :

H	*Asplenium Ruta muraria*	*T*	*Scleropoa rigida*
H	*Parietaria ramiflora*	*T*	*Geranium rotundifolium*
Ch	*Umbilicus pendulinus*	*T*	*Arenaria serpyllifolia* v.
H	*Ceterach officinarum*	*T*	*Hutchinsia petræa*
Ch	*Sedum album*	*H*	*Asplenium Trichomanes*
Ch	— *dasyphyllum*	*Ch*	*Helichrysum Stœchas*
T	*Centranthus Calcitrapa*	*H*	*Silene italica*

Le second, sur le versant atlantique, à Meyrueis (700 m.), nous donne :

H	*Asplenium Ruta muraria*	*T*	*Linaria supina*
H	*Ceterach officinarum*	*H*	— *origanifolia*
Ch	*Sedum album*	*H*	*Arabis muralis*
Ch	— *dasyphyllum*	*H*	*Poa bulbosa*

T Saxifraga tridactylites

Ainsi presque partout se retrouvent les mêmes espèces *rupestres* auxquelles l'homme, en bâtissant des murs, a préparé une nouvelle station analogue à leur station primitive. Le spectre biologique est à peu près celui des associations rupestres; pourtant les Thérophytes sont représentés plus largement sur les murs ; ils y trouvent plus de places libres; d'autre part, les murs sont situés au milieu des cultures et des plantes annuelles. *Phagnalon sordidum*, couvrant parfois des murs entiers (Saint-André-de-Majencoules) et *Campanula Erinus* manquent au versant atlantique.

B. Groupe d'associations des éboulis mouvants, type Calamagrostis argentea

Les éboulis provenant de la décomposition et désagrégation de la roche compacte constituent des stations spéciales, bien définies. Elles ont certains traits de commun avec les rochers, mais s'en distinguent nettement par leur végétation, témoin de conditions écologiques particulières.

Dans le massif de l'Aigoual, les éboulis, peu fréquents d'ailleurs, ne tardent pas à se couvrir de végétation arborescente. On ne rencontre des pentes entières d'éboulis mouvants rappelant un peu ceux des hautes montagnes que dans la gorge de Bramabiau, dans le vallon surcreusé de l'Hérault supérieur et au nord de la Tessone.

Comme pour les rochers compacts, il existe une différence *floristique fondamentale* entre éboulis calcaires et éboulis siliceux, on y reconnaît facilement deux types bien tranchés.

3. *Association à Calamagrostis argentea*
(Éboulis calcaires)

Calamagrostis argentea (Lasiagrostis Calamagrostis) est une des espèces caractéristiques de ce groupement. Elle est capable de fixer les éboulis et de préparer la stabilisation des débris mouvants. Aux environs de Meyrueis et au Pas de l'Ase elle est accompagnée du *Rumex scutatus* (indifférent) et de l'*Euphorbia Duvalii* (calcicole). Dans les gorges de Bramabiau, l'espèce la plus frappante des éboulis calcaires est le superbe *Campanula speciosa* à laquelle s'associent *Rumex scutatus* (en masse), *Valeriana tripteris, Petasites albus, Galium rubrum* var., *Tussilago Farfara, Aquilegia vulgaris, Arrhenatherum elatius.* Le *Calamagrostis argentea* y est remplacé par le *Sesleria cærulea*, qui tend à former des gazons clairiérés aux endroits où le mouvement des éboulis se ralentit un peu.

Dans les couloirs et les cheminées à éboulis des déclivités rocheuses du Causse de Blandas, près du Vigan, *Aquilegia Kitaibelii,* espèce pyrénéenne absolument caractéristique des éboulis calcaires se retrouve avec le beau *Paeonia peregrina.*

Les conditions particulières de la station ont pour conséquence le grand développement du système souterrain. Chez beaucoup d'espèces, la racine principale profonde est très résistante à la traction; elle se divise près de la surface des éboulis en plusieurs branches qui, étant recouvertes, ont la faculté de s'allonger beaucoup *(Aquilegia Kitaibelii, Rumex scutatus, Campanula speciosa, Euphorbia Duvalii)*. Chez d'autres *(Calamagrostis argentea, Sesleria)*, le système fasciculé est doué d'un fort enracinement. Ces végétaux forment des touffes compactes qui entravent le mouvement des éboulis (« Schuttstauer » de M. Schröter, l. c. 1908).

La végétation des éboulis compte très peu de Thérophytes (par exemple *Centranthus calcitrapa, Linaria supina*). Deux Phanérophytes, *Rhamnus alpina* et *Salix incana* sont particulièrement utiles lorsqu'il s'agit de fixer une pente en mouvement. Plusieurs végétaux introduits *(Robinia Pseudo-Acacia,*

Cytisus Laburnum) ainsi que l'*Hippophae rhamnoides* peuvent également rendre de bons services du même ordre.

Par la présence des *Campanula speciosa*, *Euphorbia Duvalii, Aquilegia Kitaibelii,* qui n'atteignent pas les Alpes, notre association à *Calamagrostis argentea* se rattache à la race pyrénéenne.

Dans la région siliceuse, les éboulis en mouvement acquièrent une certaine étendue au fond du vallon de l'Hérault. L'érosion y est extrêmement active et peu de végétaux parviennent à se fixer. Les espèces les plus fréquentes et les plus caractéristiques des débris de rochers schisteux sont *Saxifraga pedatifida, Rumex scutatus, Valeriana tripteris*, *Campanula rotundifolia.*

Sur la rive gauche de l'Hérault supérieur, exposée en plein midi (700-900 m.), on observe comme pionniers de la colonisation :

Rumex scutatus	*Galeopsis intermedia*
Leucanthemum palmatum	*Silene venosa*
Lactuca viminea	*Senecio viscosus*
Teucrium Scorodonia	*Arrhenatherum elatius*

Mais le genêt *(Genista purgans)* s'y installe bien vite et ses buissons touffus arrivent à stabiliser les éboulis.

Une station dérivée de la roche granitique décomposée sur place sont les « compayrés » ou chaos de blocs arrondis (cf. de Martonne l. c. 1912). Ces compayrés (*Blockmeere*) se rencontrent fréquemment sur le dos de la pénéplaine, leur étendue et les dimensions des blocs varient beaucoup, ainsi que la végétation qu'ils portent. J'y ai recherché en vain l'*Allosurus crispus*, Fougère qui, dans les Alpes, croît dans des conditions analogues. Les chaos de blocs granitiques sur les crêtes de l'Aigoual sont le plus souvent envahis de peuplements purs des *Dryopteris Phegopteris et D. Linnæana.*

C. Groupe d'associations des graviers et arènes granitiques, type Corynephorus

Les stations résultant de la désagrégation des blocs granitiques, graviers et arènes, donnent asile à une végétation spéciale, méritant une place à part dans la classification synécologique.

4. *Association à Corynephorus canescens* (*Corynephoretum*)

Localisé sur l'étage inférieur et moyen, elle acquiert son meilleur développement dans les châtaigneraies non irriguées à sol granitique graveleux et sec. Ce sol, ne recevant jamais ni engrais ni eau d'irrigation, demeure dans un état de pauvreté et de stérilité complètes, d'autant plus qu'on en enlève chaque année la feuille morte, employée comme litière. A part quelques touffes de mousses *(Rhacomitrium canescens*, *Polytrichum spec.)* les végétaux pérennants manquent à peu près. Au printemps seulement une végétation clairsemée composée d'espèces éphèmères de très petite taille apparait, mais elle n'arrive pas à couvrir le gravier et constitue pendant quelques semaines seument un mauvais pâturage. *Corynephorus canescens*, Graminée annuelle, y domine le plus souvent. Croissant en petites touffes serrées, elle rappelle avec ses feuilles enroulées sétacées et glauques le *Nardus stricta* de l'étage du hêtre. Une foule de Thérophytes naines s'y ajoutent. *Aira caryophyllea, Vulpia Myuros*, *Psilurus nardoides, Nardurus Lachenalii, Teesdalia nudicaulis, Arnoseris minima, Veronica Dillenii*, *Hypochoeris glabra* n'y manquent presque jamais. Mais cette végétation ne supporte pas les chaleurs de l'été. Dès le commencement de juillet, on n'en observe plus guère que des tigés et des feuilles desséchées.

Les relevés que nous avons pris de cette association se rapportent aux localités suivantes, situées toutes sur sol granitique :

N° 1. Le Mazel (V. de l'Hérault), 350 m., châtaigneraie dénudée.

NUMÉRO DU RELEVÉ		1	2	3	4	5	6
ALTITUDE M. S. M.		350	430	460	550	600	610
a) *Caractéristiques de 1er et 2e ordre*							
T	Corynephorus canescens	+	5	2-4	6	2	2-4
T	Hypochœris glabra.....	+	+	+	...	...	+
T	Arnoseris minima	+	+	+	+	...	+
T	Filago minima.....	+	+	+	+	+	+
T	Ornithopus perpusillus	+	+	+	+	...	+
T	Veronica Dillenii.....	...	+	+	+	+	+
T	Psilurus nardoides	+	...	+	+	+	...
T	Spergula Morisonii.....	...	+	...	...	...	+
T	Mibora verna.....	...	+	...	+	+	...
b) *Constantes*							
T	Aira caryophyllea.....	1-2	+	+	+	+	+
T	Nardurus Lachenalii	+	+	+	2	+	+
T	Rumex Acetosella.....	2	+	+	+	+	+
T	Teesdalia nudicaulis.....	+	+	+	+	+	+
H	Jasione montana.....	+	+	+	+	+	+
T	Vulpia Myuros.....	+	+	+	+	+	+
P	Sarothamnus scoparius	+	+	+	+	+	+
T	Crucianella angustifolia.....	...	+	+	+	+	+
T	Tunica prolifera	+	+	+	+	...	...
T	Scleranthus annuus.....	+	+	...	+	...	+
H	— perennis.....	...	+	+	+	+	...
H	Anarrhinum bellidifolium ...	+	+	+	...	+	...
T	Trifolium arvense.....	...	+	+	+	...	+
c) *Espèces accessoires principales*							
T	Cerastium brachypetalum ...	+	...	+	...	+	...
T	Euphrasia lutea	+	+	+	...	...	...
Ch	Sedum rupestre.....	+	...	+	+	...	...
Ch	Hieracium Pilosella	...	+	+	+	...	...
Ch	Thymus Serpyllum	...	+	+	+	...	...
T	Trifolium campestre.....	+	+	...	+	...	...
H	Euphorbia cyparissias	...	+	+	...	...	+
T	Helianthemum guttatum	...	+	+	...	...	...
d) *Espèces accessoires et accidentelles*		7	10	6	5	7	12

N° 2. La Vieille (V. de l'Hérault), 430 m , châtaigneraie.

N° 3. La Rouvierette, sur Saint-André-de-Majencoules, 460 m., châtaigneraie.

N° 4. Mandagout-Beaulieu, 550 m., châtaigneraie.

» 5. Sur Arphy, 600 m., châtaigneraie.

» 6. La Queyrolle (Mandagout), 610 m., châtaigneraie.

Le spectre biologique compte :

1 Nano-Phanérophyte *(Sarothamnus)*,
3 Chaméphytes,
4 Hémicryptophytes,
22 Thérophytes.

Les Thérophytes l'emportent au point de vue du nombre des espèces et des individus. Chaméphytes et Hémicryptophytes croissent mal dans ce gravier stérile, sec, piétiné par les moutons. Ce sont encore les conditions édaphiques qui excluent les Géophytes.

Nous ne sommes pas renseignés sur la répartition géographique du Corynephoretum. Les peuplements de *Corynephorus* des plaines sablonneuses aux environs de Berlin, de Wittenberg, etc., semblent appartenir à la même association.

L'abandon des terrains à *Corynephorus* entraîne immédiatement l'invasion et l'extension des genêts (*Genista purgans* et surtout *Sarothamnus scoparius*), aux dépens des Thérophytes. Nous les trouvons d'ailleurs isolés et en jeunes individus dans tous nos relevés.

L'unique station naturelle, également favorable au développement du *Corynephoretum* sont les alluvions graveleuses-sablonneuses des bords des torrents. La proximité de l'eau remontant par capillarité et accessible aux végétaux à enracinement un peu profond, le sol un peu plus riche en matières nutritives, ces conditions édaphiques légèrement différentes déterminent cependant un enrichissement de la végétation.

L'association à *Corynephorus canescens* s'élève jusqu'à 1.000 m. sur le versant sud. Vers sa limite supérieure, elle occupe les arènes granitiques, dénudées, graveleuses, au milieu des landes à *Genista purgans*. Dans des conditions semblables, près de Puéchagut, on observe, à 1.000 m. d'altitude :

Arnoseris minima — *Teesdalia nudicaulis*
Nardurus Lachenalii — *Scleranthus perennis*
Cerastium glutinosum — *Spergula Morisonii*
Rumex acetosella

ainsi que *Asterocarpus sesamoides* et *Deschampsia flexuosa,* deux compagnes de l'association montagnarde à *Paronychia polygonifolia.*

5. *Association à Paronychia polygonifolia*

(Arènes granitiques de la montagne)

Elle remplace l'association précédente dans des stations analogues de l'étage du hêtre. Les pentes à forte inclinaison, dénudées par suite de l'érosion ou du piétinement des troupeaux, les drailles (pistes des moutons), en général tous les terrains pierreux-graveleux où le gazonnement est impossible, sont occupés par une végétation clairiérée de *Paronychia polygonifolia, Asterocarpus sesamoides, Rumex Acetosella, Scleranthus perennis, Scleranthus annuus* et quelques autres espèces ubiquistes. Bien plus rarement on y rencontre encore *Scleranthus uncinnatus, Corrigiola telephifolia, Lepidium heterophyllum,* espèces plus ou moins caractéristiques de ce groupement localisé exclusivement sur la montagne siliceuse.

D. Groupe d'associations des arbres sclérophylles, type chêne vert.

6. *Association du chêne vert.*

(Quercetum Ilicis).

Le chêne vert *(Quercus Ilex),* l'essence forestière la plus importante de nos basses vallées méditerranéennes, pénètre par les vallées de l'Arre et de l'Hérault jusqu'au cœur du massif de l'Aigoual; il y occupe des surfaces étendues, s'élevant en peuplements continus jusqu'à 500 m. à l'ubac, jusqu'à 900 m. au sud et sud-est et à 980 m. au sud-ouest dans le vallon de Berthezène. A la limite des peuplements correspondent à

peu près les derniers arbres portant des fruits bien développés. Le dernier chêne vert, haut de trois mètres et demi et portant encore des glands avortés, s'abrite dans un coin des rochers au-dessus du Villaret à 1025 m. sur les pentes sud de l'Aigoual. Des individus rabougris, chétifs et toujours stériles, pionniers de la végétation méditerranéenne s'avancent même assez haut dans l'étage du hêtre. Quelques pieds se trouvent au milieu des taillis de hêtre à 1130 et 1200 m. entre les sources du Tarnon et le Pic de la Fajeole. Dans les escarpements au-dessous de l'Hort-de-Dieu des chênes verts isolés grimpent jusqu'à 1200 m., près du Valat de la Dauphine ils atteignent 1310 m., limite extrême de l'espèce.

La présence du chêne vert sur les flancs de l'Aigoual où la somme des pluies annuelles varie entre 1700 et 2000 mm., prouve qu'il ne craint pas les fortes précipitations à la condition que l'eau s'écoule vite (ruissellement), que la chaleur soit assez forte pour lui permettre de mûrir ses fruits et que les chutes de neige ne soient pas trop abondantes. On rencontre aussi l'*Ilex Aquifolium,* arbuste des climats humides océaniques au milieu de ces peuplements du chêne vert.

Les forêts de chênes verts qui jadis couvraient les flancs de nos vallées méditerranéennes ont disparu. On ne rencontre guère aujourd'hui que quelques vestiges de la végétation arborescente primitive, des taillis d'une trentaine d'années. Dès que les arbres ont atteint de quatre à cinq mètres de haut, on les coupe généralement. Le bois, recherché pour le chauffage, est vendu dans les villes du bas Languedoc, l'écorce s'emploie et surtout s'employait dans la tannerie. Les versants déboisés, protégés pendant deux ans par la loi, sont abandonnées ensuite aux moutons. Généralement pourtant le reboisement spontané se produit d'une façon normale, grâce à la force reproductrice des souches, grâce aussi aux feuilles spinescentes des jeunes repousses, respectées habituellement par les moutons. Dans les cas assez fréquents où le pâturage s'exerce d'une manière abusive, les ovidés se contentent aussi — faute de mieux — de pousses de chêne vert ; j'ai même vu broutés par les animaux affamés les *Pteris aquilina, Asparagus acutifolius, Crataegus* et *Ruscus aculeatus*, fourrages des moins digestifs. Dans des con-

ditions pareilles, une reconstitution des taillis devient difficile, sinon impossible. Les Bruyères *(Calluna, Erica arborea, E. cinerea)* les Genêts *(Sarothamnus scoparius, Genista purgans)* et les Cistes *(Cistus salvifolius* et *C. laurifolius)* s'emparent du terrain pour former des landes improductives.

Cet état lamentable a pour pendant la garigue méditerranéenne, si répandue dans le midi et que nous considérons avec M. Flahault (loc. c. 1893, p. 39) comme « formation » anthropozoogène, consécutive à la destruction des bois.

Des futaies bien développées de chênes verts manquent non seulement dans les Cévennes, mais aussi dans la plaine du Languedoc. Il est par conséquent très difficile de restituer d'une manière satisfaisante l'état primitif de ces forêts. Les peuplements du Djurdjura algérien et les bois de chênes liège des Pyrénées orientales et de la Provence qui constituent des types mieux évolués de la même association (tout en appartenant à des races régionales différentes) nous donnent pourtant quelques notions sur cet état primitif normal. La plupart des espèces héliophiles de nos taillis végètent chétivement ou disparaissent sous la futaie. D'autres végétaux mieux adaptés à l'ombre ininterrompue comme *Viburnum Tinus, Ruscus, Smilax, Arisarum, Aristolochia longa, A. rotunda, Cyclamen, Cephalanthera,* etc., les remplacent.

S'il nous est impossible de nous faire une idée exacte de l'association du chêne vert à l'optimum de son développement, nous pouvons du moins à l'aide des taillis existants saisir la voie poursuivie par l'évolution et entrevoir le stade final vers lequel elle tend.

Commençons par l'inspection d'un sol récemment déboisé et poursuivons notre examen à travers la série successive de taillis d'âge différent.

A la suite d'une coupe, le sous-bois change tout de suite d'aspect. Les lianes et les végétaux qui sous notre climat fuient les radiations directes du soleil comme *Ruscus, Aspidium Filix mas, Aristolochia rotunda,* etc., cèdent la place aux espèces héliophiles.

Des arbrisseaux *(Sarothamnus, Erica arborea, cinerea, Calluna, Cistus salvifolius* et d'autres) qui ont végété misérablement à

l'ombre, reprennent le dessus et envahissent en peu de temps le peuplement tout entier. Quelques autres végétaux ligneux s'entremêlent plus ou moins copieusement *(Adenocarpus complicatus, Buxus, Juniperus communis, Osyris alba)*. Une foule de petites plantes à vie éphémère naissent parmi les broussailles sur la terre nue. Dans cette station on récolte divers *Aira*, les *Cynosurus echinatus, Briza maxima*, bon nombre de Trèfles et de Crucifères annuelles. Les végétaux pérennants herbacés, par contre, y sont plutôt rares *(Urospermum Daleschampii, Teucrium, Scorodonia, Sedum rupestre, Thymus vulgaris*, etc.). Dans cette première phase, troublée d'ailleurs par le pâturage, on n'observe encore aucune caractéristique spéciale. Voilà pourquoi nous la considérons non pas comme association définie, mais comme simple sous-association du *Quercetum Ilicis* auquel sa flore la rattache directement.

Erica arborea domine le plus souvent ces peuplements temporaires, ornant au premier printemps les flancs des basses montagnes de ses innombrables clochettes blanches réunies en gerbes au sommet des branches. Entre le Mazel et Pont d'Hérault (vallée de l'Hérault), cette sous-association imprime son caractère à des versants entiers. En voici deux exemples typiques :

1. Sous-association à *Erica arborea* dans le vallon du Rey 250 m. sur sol siliceux, exposition sud-ouest.

P	5	*Erica arborea*	*H*	*Antirrhinum bellidifolium*
P	4	— *cinerea*	*H*	*Andryala sinuata*
P	4	*Calluna vulgaris*	*H*	*Jasione montana*
P	3	*Cistus salvifolius*	*T*	*Nardurus Lachenalii*
P	3	*Quercus Ilex* jeunes repousses)	*T*	*Aira caryophyllea*
P	1	*Sarothamnus scoparius*	*T*	*Rumex acetosella*
P	1	*Buxus sempervirens*	*T*	*Cardamine hirsuta*
P	1	*Adenocarpus complicatus*	*T*	*Teesdalia nudicaulis*
P	1	*Rubia peregrina* 1 indiv.	*T*	*Helianthemum guttatum*
Ch		*Thymus vulgaris*	*T*	*Ornithopus compressus*
Ch		*Psoralea bituminosa*	*T*	— *perpusillus*
Ch		*Sedum rupestre*	*T*	*Lotus angustissimus*
G		*Pteris aquilina*	*T*	*Trifolium arvense*

H	*Teucrium Scorodonia*	*T*	— *glomeratum*
H	*Urosperm. Daleschampii*	*T*	*Vicia gracilis*
H	*Dactylis glomerata*	*T*	*Lathyrus sphæricus*
H	*Agrostis alba*	*T*	*Filago arvensis*

2. Sous-association à *Erica arborea* (facies dominé par des Cistes au-dessus du hameau de Paleyrolles 400-500 m. sud-ouest.

P	2	*Erica arborea*	*T*	*Aira caryophyllea*
P	3-5	— *cinerea*	*T*	*Corynephorus canescens*
P	3-5	*Cistus salvifolius*	*T*	*Briza maxima*
P	2-6	— *laurifolius*	*T*	*Nardurus Lachenalii*
P	2-6	*Calluna vulgaris*	*T*	*Psilurus nardioides*
P	0-2	*Sarothamnus scoparius*	*T*	*Sagina apetala*
P	1	*Osyris alba*	*T*	*Teesdalia nudicaulis*
P	1	*Quercus Ilex*	*T*	*Trifolium arvense*
P	1	*Daphne Gnidium*	*T*	— *glomeratum*
P	1	*Adenocarpus complicatus*	*T*	*Ornithopus perpusillus*
P	1	*Juniperus communis*	*T*	*Lotus angustissimus*
Ch		*Thymus Serpyllum*	*T*	*Vicia gracilis*
Ch		*Sedum rupestre*	*T*	*Lathyrus sphæricus*
G		*Pteris aquilina*	*T*	*Helianthemum guttatum*
H	2	*Teucrium Scorodonia*	*T*	*Veronica Dillenii*
H		*Hypericum perforatum*	*T*	*Galium parisiense*
H		*Agrostis alba*	*T*	*Crucianella angustifolia*
H		*Dactylis glomerata*	*T*	*Filago minima*
H		*Anarrhin. bellidifolium*	*T*	*Senecio lividus*
H		*Jasione montana*	*T*	*Arnoseris minima*
H		*Andryala sinuata*	*T*	*Tolpis barbata*
H		*Scleranthus perennis*	*T*	*Hypochœris glabra*

Le spectre biologique de ce groupement manifeste aussi de relations étroites avec celui de la garigue. De part et d'autre les *Nano-Phanérophytes* (arbrisseaux inférieurs à 2 m. de haut) et les *Thérophytes* occupent la première place. Les *Chaméphytes, Hémicryptophytes* et *Géophytes* y sont rares.

Avec le développement de la flore ligneuse et la reprise de possession du chêne vert, la lutte pour la place s'engage entre

arbustes et plantes monocarpiques, entre les éléments héliophiles et ceux qui supportent l'ombre.

L'évolution successive des taillis de chênes verts peut être poursuivie pas à pas à l'aide du tableau comparatif ci-dessous. Dans les relevés 1-3 les caractéristiques sont supplantées par les bruyères et le genêt. Ces espèces envahissantes sont moins abondantes dans les relevés 3-6 ; *Ruscus* et d'autres caractéristiques apparaissent à mesure que le chêne vert se développe. Les n°s 8-10 représentent des taillis assez homogènes ; ils possèdent déjà un certain nombre de végétaux qui fuient l'insolation directe comme *Aspidium Filix-mas Geranium Robertianum, Veronica officinalis*, etc.

Nos relevés proviennent des localités suivantes :

N° 1. Vallon du Rey 300 m., jeune taillis ; les repousses du chêne vert atteignent 1 m. de hauteur.

N° 2. Près de Clény, en face du Villaret, rive droite de l'Hérault, 280 m., exposition est, taillis de 10 à 15 ans.

N° 3. Au-dessus de Mazel (V. de l'Hérault) 400 m., sud.

N° 4. Les Salles (Vallon de Berthezène) 450 m., sud.

N° 5. Près l'Issert (V. de l'Hérault) 450 m., sud-ouest ; taillis d'une trentaine d'années.

N° 6. Entre la Valette et Taleyrac 500-550 m., sud.

N° 7. Pont d'Hérault 300 m., sud.

N° 8. Angliviels près Valleraugue 450 m., sud, taillis de 50 à 60 ans.

N° 9. Beauregard (V. du Rey) 250 m., nord-est ; taillis de près de 100 ans.

N° 10. Accariès (V. du Rey) 400 m., sud.

L'âge approximatif des taillis énumérés ci-dessus varie entre dix et cent ans à peu près. Le caractère différent de la flore des jeunes et des vieux taillis ressortirait mieux encore si ces derniers n'étaient pas situés déjà sur la bordure extrême de l'association vers l'origine des vallées méditerranéennes.

Les espèces accessoires les plus fréquentes, non mentionnées dans notre tableau sont : *Dactylis glomerata, Poa nemoralis, Quercus pubescens, Castanea vesca, Silene italica, S. Armeria, Genista pilosa, Lotus angustissimus, Rosa* species, *Galium parisiense*. Deux caractéristiques très rares dans le massif de l'Ai-

	NUMÉRO DU RELEVÉ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	ALTITUDE M. S. M.	300	280	400	450	450	500-550	300	450	250	400
	a) *Caractéristiques de 1er ordre*										
P	Smilax aspera	...	...	...	...	...	...	...	...	...	+
P	Ruscus aculeatus	...	...	...	1-2	3	2	+	2	2-6	+
P	Arbutus Unedo	...	...	...	...	...	...	+	2	+	...
	b) *Caractéristiques de 2e ordre*										
P	Quercus Ilex	2	4	4	6	6	7	3-7	8	9	6-9
P	Phillyrea media	...	+	...	...	+	...	...	1-3	...	+
P	Asparagus acutifolius	...	...	+	...	...	...	+	...	...	+
P	Rubia peregrina	...	...	...	...	+	...	...	...	2	+
P	Clematis Flammula	...	...	...	...	...	+	+	...	2	+
P	Lonicera etrusa	...	...	...	...	...	...	...	...	3	+
P	Osyris alba	...	...	...	...	...	...	...	2	...	2
G	Aristolochia rotunda	...	...	...	...	...	...	+	+	...	...
P	Cistus salvifolius[1]	2	2	6	2	+	3	3	+	+	1-3
P	Erica arborea[1]	2	3	+	+	3	3	1-4	2	+	1-3
	c) *Constantes*										
P	Calluna vulgaris	5	3	2	+	+	3	2-3	2	+	1-3
P	Erica cinerea	2	2	2	2	2	+	2-3	+	2	1-4
P	Sarothamnus scoparius	3	1-2	...	...	...	...	...	...	...	...
H	Jasione montana	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
H	Anarrhinum bellidifolium	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
H	Teucrium Scorodonia	+	+	+	+	+	+	...	+	+	+
P	Rubus ulmifolius	...	...	+	+	+	+	+	+	+	+
	d) *Espèces accessoires*										
P	Buxus sempervirens	+	+	...	...	...	...	...	2-3	+	2
P	Adenocarpus complicatus	+	+	+	...	...	...	+	...	...	...
P	Hedera Helix	...	...	...	...	...	+	...	+	2	...
P	Pistacia Terebinthus	...	+	...	...	...	...	+	...	...	...
Ch	Psoralea bituminosa	...	+	+	...	...	2	+	...	...	+
Ch	Sedum rupestre	+	+	+	...	...	...	+	...	...	...
G	Pteris aquilina	2	+	+	+	2	...	...	...	1-2	...
H	Hypochœris radicata	...	+	+	+	+	...	+	...	+	...
H	Tamus communis	...	...	...	...	+	+	...	+	+	+
H	Urospermum Daleschampii	...	+	+	+	...	...	+	...	...	2
H	Scabiosa Columbaria	...	+	...	+	...	...	+	...	+	+
H	Agrostis alba	+	...	...	+	+	+	+	...	...	...
H	Asplenium Ad. nigrum	...	...	...	+	...	...	...	+	2	+
H	Picridium vulgare	...	...	...	+	...	+	+	...	...	...
T	Aira caryophyllea	+	+	+	+	+	...	+	...	...	...
T	Briza maxima	+	+	+	+	...	...	+	...	...	+
T	Helianthemum guttatum	+	...	...	+	...	+	+	+	...	...
T	Crucianella angustifolia	+	...	...	...	...	...	+	+	...	+
T	Nardurus Lachenalii	+	...	+	...	+	...	...	...	...	...
T	Cynosurus echinatus	+	...	...	+	...	...	+	...	...	...
T	Ornithopus compressus	...	...	+	...	...	+	...	...	+	...
T	Euphrasia lutea	...	+	...	...	...	...	...	+	+	...
	e) *Espèces ± accidentelles*	8	?	8	?	9	5	20	7	5	20

[1] Dominantes de la sous-association à *Erica arborea*.

goual et qui manquent à nos relevés sont le rosier grimpant *(Rosa sempervirens)* et *Daphne Gnidium.*

Le spectre biologique de l'association telle qu'elle se présente dans les taillis, comprend les éléments suivants :

20 Phanérophytes.
2 Chaméphytes.
2 Géophytes.
10 Hémicryptophytes.
8 Thérophytes.

Les Phanérophytes *toujours verts* sont au nombre de 15, les lianes de 8.

Le contraste est frappant entre le spectre des taillis de chênes verts, l'association principale des basses vallées, et celui de la hêtraie prépondérante à l'étage supérieur. Les Géophytes et les Hémicryptophytes, dominantes dans la futaie de hêtre, sont remplacées ici par des Phanérophytes toujours verts et des Thérophytes. La physionomie de la végétation, expression collective des formes biologiques, à subi un changement complet, provoqué, en partie, par les conditions édaphiques et locales. Le sol aéré et meuble de la hêtraie favorise les Géophytes qui ne craignent pas l'ombre, défavorable aux Thérophytes. D'autre part le bois clairiéré du *Quercetum* facilite le développement des lianes et du sous-bois. Dans notre cas, cependant, les conditions purement locales sont dominées par des conditions générales, climatiques : deux régions botaniques représentant deux climats différents confinent ici ; celle de l'Europe moyenne avec ses Hémicryptophytes et Phanérophytes à feuilles caduques et celle de la Méditerranée caractérisée comme région tempérée chaude et sèche par les Phanérophytes toujours verts et les lianes. Tant que ces dernières formes biologiques dominent dans une association, nous pouvons admettre, en dehors de toute autre considération, que la limite de la région méditérranéenne n'est pas encore atteinte.

(A suivre).

OBSERVATIONS METÉOROLOGIQUES

FAITES AUX

FORTIFICATIONS DE SAINT-MAURICE

PENDANT LES MOIS DE

juin, juillet et août 1914

(ÉTÉ 1914)

OBSERVATIONS DIVERSES

Juin 1914

Brouillard. — *Brouillard pendant une partie de la journée:* le 18 à Dailly et à l'Aiguille.

Orages : les 17 et 27.

Juillet 1914

Brouillard. — *Brouillard pendant une partie de la journée:* le 27 à Dailly et à l'Aiguille.

Orages : les 1, 15, 22 et 25.

Août 1914

Brouillard. — *Brouillard pendant une partie de la journée:* les 4, 15 et 21 à Dailly et à l'Aiguille.

Orage : le 15.

MOIS DE JUIN 1914

Jours du mois	Baromètre Hauteur moyenne		Thermomètre Température moyenne		Hygromèt. Fraction de saturation moyenne		Nébulosité moyenne			Pluie et Neige (hauteur mesurée)							
										Lavey		Savatan		Dailly		Aiguille	
	Savatan	Dailly	Savatan	Dailly	Savatan	Dailly	Lavey	Savatan	Dailly	Pluie	Neige	Pluie	Neige	Pluie	Neige	Pluie	Neige
	mm.	mm.	°	°	%	%				mm.	cm.	mm.	cm.	mm.	cm.	mm.	cm.
1	702.8	656.6	+12.6	+ 9.3	68	55	6	7	5	....	....	....	....	....	....	....	....
2	703.4	657.5	13.3	9.2	64	65	3	6	5	....	....	....	....	....	....	....	....
3	705.6	660.0	14.7	10.1	59	56	1	4	4	....	....	....	....	....	....	....	....
4	702.9	658.3	15.3	12.2	62	38	0	1	1	....	....	....	....	....	....	....	....
5	699.8	654.5	13.4	10.0	69	51	9	9	9	4.2	...	4.6	....	5.6	....	5.8	...
6	701.4	654.1	**6.5**	**3.3**	82	89	8	8	8	2.5	....	3.0	....	3.5	....	3.6	...
7	701.1	652.2	10.3	6.6	53	37	4	4	1	12.7	....	15.1	....	16.7	....	16.9	....
8	**692.7**	**648.1**	6.6	3.5	**95**	**96**	10	10	10	7 0	....	7.3	...	7.6	....	8.2	....
9	696.3	649.8	8.3	4.8	71	64	6	7	9	....	....	0.4	....	0.1	....	0.2	....
10	700.2	654.1	10.8	8.2	66	27	4	8	6	....	....	....	....	....	....	....	....
11	699 9	654.5	13.7	10.1	53	34	2	2	3	....	....	....	....	....	....	....	....
12	700.0	655.1	14.5	11.3	51	28	3	5	5	....	....	....	....	....	....	....	....
13	700.6	655.6	14.5	10.1	62	55	8	8	8	5.7	....	6.5	....	6.4	....	6.5	....
14	702.3	657.0	13.5	9.5	75	73	7	8	8	....	....	....	....	....	....	....	....
15	702.9	658.3	15.0	11.5	61	50	6	6	7	2.6	....	3.0	....	4.7	....	5.2	....
16	704.1	658.4	13.2	10.2	85	72	9	10	8	1.6	....	2.5	....	1 6	....	1.5	...
17	705.4	659.7	15.7	12.0	63	36	4	7	5	**16.3**	....	**19.2**	...	**21.7**	....	**17.1**	....
18	705.4	659 1	12.7	9.7	89	77	9	9	9	2.5	....	1.8	...	1.9	....	1.7	....
19	704.9	659.7	14.1	11.1	81	69	6	7	9	1.9	....	1.8	....	1.7	....	1.5	....
20	704.3	659.1	15.0	12.4	73	48	4	6	5	2.4	...	2.0	....	1.7	....	1.8	....
21	704.2	658.8	14.9	12 2	83	52	7	10	9	1.2	....	1.9	....	3.0	....	3.2	...
22	706.4	660.1	11.2	9.0	70	77	7	8	7	8.5	....	8.8	....	8.7	....	8.8	....
23	709.2	663 4	13.5	9.7	54	39	8	6	7	....	....	....	....	0.1	....	0.2	....
24	710.7	664.9	14.0	10.5	71	45	9	9	9	1.4	....	0.8	....	1.4	....	1.3	....
25	**710.8**	**665.3**	16.3	13.0	56	44	1	0	1	....	....	....	....	....	....	....	....
26	709.0	664.7	17.8	15.3	56	33	1	0	1	....	....	....	....	....	....	....	....
27	709.4	665.0	18.3	15.6	65	29	6	5	3	....	....	....	....	....	....	...	....
28	709.7	665.0	20.9	17.7	**48**	26	0	2	1	....	....	....	....	....	....	....	...
29	709.5	**665.3**	21.2	17.8	50	**21**	0	0	1	....	....	....	....	....	....	....	....
30	707.2	662.9	**+21.3**	**+18.3**	54	27	0	0	0	....	....	....	....	....	....	....	....
Mois	704.07	658.57	+14.10	+10.80	66	50	4.9	5.8	5.5	70.5	....	78.7	....	86.4	....	83.5	....

MOYENNES DU MOIS DE JUIN 1914

Pression atmosphérique

	Savatan				Dailly			
	7 h. m. mm.	1 h. s. mm.	9 h. s. mm.	Moyenne mm.	7 h. m. mm.	1 h. s. mm.	9 h. s. mm.	Moyenne mm.
1re décade ...	700.83	700.40	700 62	700.62	654.62	654.39	654.56	654.52
2me » ...	703.08	702.52	703.31	702 97	657.74	657.42	657.77	657 64
3me » ...	708.58	708.56	708.72	708.62	663.48	663.53	663.62	663.54
Mois..	704.16	703.82	704.22	704.07	658.61	658.45	658.65	658.57

Température

	Savatan					
	7 h. m. °	1 h. s. °	9 h. s. °	Moyenne °	Minim. moyen °	Maxim. moyen °
1re décade ...	+ 8.76	+13.72	+11.04	+11.17	+ 6.3	+15.9
2me » ...	11.52	17.06	13.98	14.19	10.0	19.0
3me » ...	13.72	19.60	17.54	16.95	11.9	22.5
Mois..	+11.33	+16.79	+14.19	+14.10	+ 9.4	+19.1
	Dailly					
1re décade ...	+ 5.84	+10.33	+ 6.98	+ 7.72	+ 4.0	+11.4
2me » ...	9.22	13.10	10.07	+10.80	7.8	14.3
3me » ...	12.22	15.85	13.64	+13.90	10.0	17.7
Mois..	+ 9.09	+13.09	+10.23	+10.80	+ 7.3	+14.5

Fraction de saturation en %

	Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
1re décade ...	85	59	63	69	72	45	57	58
2me » ...	85	61	62	69	66	48	49	54
3me » ...	73	53	56	61	43	37	37	39
Mois ..	81	58	60	66	60	43	48	50

Nébulosité

	Lavey				Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
1re décade ...	5.1	4.8	5.2	5.1	5.2	6.4	7.7	6.4	5 2	5.7	6.3	5.8
2me » ...	5.7	5.1	6.6	5.8	6.2	6.2	7.9	6.8	6.3	6.2	7.6	6.7
3me » ...	3.8	4.0	4.0	3.9	3.6	5.1	3.6	4.1	3.8	3.9	4.1	3.9
Mois..	4.9	4.6	5.3	4.9	5.0	5 9	6.4	5.8	5.1	5.3	6.0	5.5

MOIS DE JUILLET 1914

Jours du mois	Baromètre Hauteur moyenne		Thermomètre Température moyenne		Hygromét. Fraction de saturation moyenne		Nébulosité moyenne			Pluie et Neige (hauteur mesurée)							
										Lavey		Savatan		Dailly		Aiguille	
	Savatan	Dailly	Savatan	Dailly	Savatan	Dailly	Lavey	Savatan	Dailly	Pluie	Neige	Pluie	Neige	Pluie	Neige	Pluie	Neige
	mm.	mm	o	o	%	%				mm.	cm.	mm.	cm.	mm.	cm.	mm.	cm.
1	704.8	660.6	+19.5	+17.7	62	26	4	5	5	....	....	....	....	1 9	....	1.8	....
2	701.3	658.1	18.0	15.3	71	33	1	5	5	....	..	....	....	0.2	....	0.2	....
3	702.9	657.4	15.1	11.8	88	50	5	8	5	19.0	....	20.2	....	28.6	....	28.7	....
4	706.2	660.2	12 5	9.0	69	54	6	6	7	....	....	0.1	....	0.7	....	0.6	....
5	701.3	656.0	15.5	10.7	58	38	2	4	5	....	....	....	....	0.1	....	0.2	....
6	703.4	658.1	13 9	10.4	85	51	10	10	10	18.5	....	20 0	....	22.6	....	22.7	....
7	707.7	661.0	9.6	7.4	**96**	75	10	10	10	7.5	....	8.0	....	8.4	....	8.3	....
8	**710.6**	**664.4**	12.9	10.5	67	41	2	7	7	5.2	....	5.6	....	6.2	....	6.1	....
9	708.7	663.9	15.5	13.0	80	59	2	4	8	....	....	0.3	....	0.4	....	0.4	....
10	706.5	661.5	17.1	14.4	65	45	0	0	0	....	....	....	....	....	....	....	....
11	706.3	662.3	19.8	17.2	63	36	0	1	1	....	....	....	....	....	....	....	....
12	707.0	661.8	**21.4**	**18.1**	59	37	3	4	5	9.0	....	10.0	....	10.3	....	10 1	...
13	707.3	662.7	19.1	15.9	62	39	2	2	2	....	....	....	....	....	....	....	....
14	706.8	662.4	20.3	17 5	61	39	0	0	2	....	....	....	....	....	....	....	....
15	705.3	661.2	17.9	13.8	76	77	6	7	7	13.5	....	13.4	....	13.1	....	13.5	....
16	706.5	661.2	12.8	10 0	87	71	10	10	9	10.0	....	13.0	....	12.6	....	12.4	....
17	707.7	661.9	13.3	10 6	63	38	6	7	7	0.1	....	....	....	0 3	....	0.4	....
18	705.3	660.2	16.3	13.0	**51**	29	2	3	2	....	....	....	....	....	....	....	....
19	700.8	656.1	17.3	14.0	54	34	1	2	1	....	....	....	....	....	....	....	....
20	**698.0**	654.4	19.5	15.6	57	29	5	5	6	....	....	....	....	....	....	....	....
21	698.5	654 8	19.3	16.3	60	**24**	7	7	6	0.2	....	....	....	....	....	....	....
22	699 1	654.9	15.6	13.0	92	68	8	8	8	32.4	....	35.0	....	34.8	....	34.5	....
23	700.1	**653.9**	12.1	9.4	93	75	10	9	9	2.5	....	3.8	....	4.7	....	4.6	....
24	702.4	656.4	14.5	11.7	72	49	3	4	6	....	....	....	....	....	....	....	....
25	700.7	656.1	14.6	10.7	79	**79**	7	7	8	**42.0**	....	**42.2**	....	**49.5**	....	**49.4**	....
26	700.8	655 8	**9.5**	7.9	85	48	7	6	7	1.0	....	1 0	....	0.8	....	0 9	....
27	699.4	654.0	10.1	**6.8**	70	59	10	10	9	7 0	....	6.9	....	7.1	....	7.4	....
28	699.6	**653.9**	11.3	8.4	75	66	7	8	7	0.9	....	....	....	....	....	....	....
29	701.8	655.6	11.6	8.7	85	64	9	8	9	2.2	....	3.4	....	5.2	....	5.4	....
30	703 9	657.0	12.9	9.7	79	76	6	7	9	2.4	....	3.0	....	4.1	....	4.2	....
31	706.0	661.6	+12 5	+11.1	63	53	1	2	3	....	....	....	....	....	....	....	....
Mois	703.76	658.69	+15.20	+12.25	72	50	5.0	5.7	6.0	173.4	....	185.9	....	211.6	....	211.8	....

MOYENNES DU MOIS DE JUILLET 1914

Pression atmosphérique.

	Savatan				Dailly			
	7 h. m. mm.	1 h. s. mm.	9 h. s. mm.	Moyenne mm.	7 h. m. mm.	1 h. s. mm.	9 h. s. mm.	Moyenne mm.
1re décade ...	705.19	704.96	705.84	705.33	660 12	660.16	660.08	660.12
2me » ...	705.34	704.82	705.13	705.10	660.67	660.30	660.29	660.42
3me » ...	701.00	700.94	701.41	701.12	655.53	655.82	656.11	655.82
Mois..	703 75	703.49	704 04	703.76	658.67	658.66	658.74	658.69

Température.

	Savatan					
	7 h. m. °	1 h. s. °	9 h. s. °	Moyenne °	Minim. moyen °	Maxim. moyen °
1re décade ...	+13.12	+17.16	+14.62	+14.97	+11.0	+19.0
2me » ...	15.15	20.30	17.85	17.77	12.7	22.4
3me » ...	11.89	14.62	12.73	13.08	9.7	17.0
Mois..	+13.34	+17.27	+14 99	+15.20	+11.1	+19.4

	Dailly					
1re décade ...	+10.90	+14.12	+11.05	+12.02	+ 8.1	+15.1
2me » ...	12.98	16.54	14.22	14.58	10.8	18.7
3me » ...	9.09	12.51	9 40	10.33	7.4	13.8
Mois..	+10.93	+14.33	+11.49	+12.25	+ 8.7	+15.8

Fraction de saturation en %

	Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
1re décade ...	83	65	74	74	47	45	49	47
2me » ...	69	59	62	63	43	42	44	43
3me » ...	82	74	77	78	66	48	66	60
Mois..	78	66	71	72	52	45	53	50

Nébulosité.

	Lavey				Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
1re décade ...	3.6	4.8	4.5	4.3	4.9	7.2	5.8	5.9	5.6	6.8	6.1	6.2
2me » ...	2.8	4.4	3.5	3.5	2.8	5.2	4.3	4.1	3.1	5 1	4.5	4.2
3me » ...	6.5	7.3	6.8	6.9	6.5	7.2	7.2	7.0	7.3	7.6	7.3	7.4
Mois..	4 4	5.5	5.0	5.0	4.8	6.5	5.8	5.7	5.4	6.6	6.0	6.0

MOIS D'AOUT 1914

Jours du mois	Baromètre Hauteur moyenne		Thermomètre Température moyenne		Hygromét. Fraction de saturation moyenne		Nébulosité moyenne			Pluie et Neige (hauteur mesurée)							
										Lavey		Savatan		Dailly		Aiguille	
	Savatan	Dailly	Savatan	Dailly	Savatan	Dailly	Lavey	Savatan	Dailly	Pluie	Neige	Pluie	Neige	Pluie	Neige	Pluie	Neige
	mm.	mm.	°	°	%	%				mm.	cm.	mm.	cm.	mm.	cm.	mm.	cm.
1	705.8	661.3	+17.3	+15.2	58	31	1	1	3	....	....	....	...	....	.. .	....	....
2	704.4	660 2	18.6	16.7	66	**24**	4	7	7	....	....	....	....	....	....	....	....
3	703.7	659.7	20.3	15.5	**53**	37	4	2	3	4.0	....	4 0	...	5.1	....	5.4	....
4	702.9	657.9	14.8	12.4	97	96	10	10	8	27.3	....	27.2	....	27.1	....	26.7	....
5	703.7	658.3	14.3	12.5	98	83	6	7	7	**40.2**	. ..	**40.4**	.. .	**47.8**	....	**48.9**	...
6	704.3	660.0	**11.5**	9 0	95	82	8	6	9	6.4	....	6 3	....	6.2	....	6.4	....
7	703.9	661.6	13.6	11 6	67	39	4	3	3	....	....	....	....	. ..	....	....	....
8	707.5	664.2	16.7	12 8	56	34	1	0	1	....	....	.. .	....	....	....	....	....
9	**710.7**	664.5	18.1	16.1	66	32	0	0	0	....	....	....	....	....	....	....	....
10	710.2	666.0	20 1	18.2	60	27	0	0	0	....	....	....	....	...	....	....	....
11	710.5	**666.3**	**22.1**	19.7	67	34	3	0	2	....	....	....	....	....	....	....	....
12	709.8	665.5	20.6	**20.0**	73	41	5	4	4	0.4	....	1.0	....	2.9	....	2.7	....
13	707.3	662.5	**22.1**	18.5	68	44	4	3	4	....	.. .	....	....	....	....	....	....
14	704.2	660.9	21.1	19.0	70	39	1	1	1	...	....	....	....	....	...	....	....
15	702.4	658.4	17.1	14.6	87	74	7	7	6	31.2	....	31.2	....	31.2	....	30.6	...
16	**701.6**	**656.7**	13.6	10.3	100	91	9	10	10	8.0	....	11.2	....	10.6	.. .	10.9	....
17	702.5	657.0	12.5	9.8	92	78	10	10	10	4.5	...	5.2	....	5.6	....	5.8	....
18	704.3	658.3	13.3	10.3	83	90	6	6	7	....	....	....	....	0.1	....	0.2	....
19	704.7	659 4	16.3	11.4	71	87	3	2	4	....	....	....	...	....	....	.. .	....
20	705.1	660.4	15.9	12.7	89	54	4	5	5	5.2	...	5.2	....	18 9	....	20.1	....
21	706.3	661.5	15.8	11.3	95	78	7	7	8	7.8	...	7.8	....	5.4	....	5.7	....
22	706.9	661.7	13.5	10.5	78	68	3	4	1	...	...	....	.. .	0.6	. ..	0.5	....
23	708.2	662.1	14.0	11.3	72	56	1	0	1	....	....	....	....	....	.. .	....	. ..
24	706.9	661.5	16.3	14.7	64	35	0	1	1	....	....	....	....	....	...	.. .	....
25	706.7	661.8	16.2	14.2	82	44	5	7	8	2.0	....	2.0	....	2.9	....	3.1	....
26	705.1	659.8	17.9	13.6	84	68	8	8	8	20.0	....	19.3	....	18.1	....	17.9	....
27	705.2	658.8	15.4	**8.5**	100	**99**	10	10	10	21.2	...	23.2	....	26.9	. ..	27.1	....
28	705.0	659.1	15.5	9.0	83	82	6	3	5	....	....	. ..	....	...	....	....	...
29	709.3	662.0	15.5	14.1	82	44	0	4	1	....	...	....	....	. ..	....	....	. .
30	709.5	663.4	17.9	15.6	76	33	1	1	2	....	....	....	...	....	....	....	....
31	708.9	664.0	+18.9	+15.6	71	52	0	0	1	....	....	....	. .	....	....	....	....
Mois	706.05	661.13	+16.67	+13 70	78	57	4 2	4 2	4.6	178.2	....	184.0	....	209.4	....	212.0	....

MOYENNES DU MOIS D'AOUT 1914

Pression atmosphérique

	Savatan				Dailly			
	7 h. m. mm.	1 h. s. mm.	9 h. s. mm.	Moyenne mm.	7 h. m. mm.	1 h. s. mm.	9 h. s. mm.	Moyenne mm.
1re décade ...	705.88	705 50	705.77	705.72	661.42	661.01	661.70	661.37
2me » ...	705.35	705.13	705 25	705.24	660.68	660.50	660.43	660.54
3me » ...	707.06	706.86	707.34	707.09	661.37	661.36	661.57	661.43
Mois..	706.13	705.86	706 16	706.05	661.17	660.97	661.24	661.13

Température

	Savatan					
	7 h. m. °	1 h. s. °	9 h. s. °	Moyenne °	Minim. moyen °	Maxim. moyen °
1re décade ...	+13.54	+18.64	+17.40	+16.53	+10.6	+20.6
2me » ...	15.86	19.31	17.24	17.47	12.6	21.3
3me » ...	13.71	18.16	16.38	16.08	10.7	20.1
Mois..	+14.35	+18.69	+16.99	+16.67	+11.3	+20.7
	Dailly					
1re décade ...	+11.84	+17.34	+12.85	+14.00	+10.5	+18.3
2me » ...	13.25	16.77	13.90	14.64	11.7	18.3
3me » ...	10.77	14.74	12.24	12.58	9.5	16.2
Mois..	+11.92	+16.23	+12.96	+13.70	+10.6	+17.6

Fraction de saturation en %

	Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
1re décade ...	82	68	65	72	56	41	49	49
2me » ...	86	73	81	80	66	59	65	63
3me » ...	88	74	80	81	68	54	58	60
Mois..	85	72	76	78	63	51	57	57

Nébulosité

	Lavey				Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
1re décade ...	3.2	3.6	4.6	3.8	3.1	4 0	3.4	3.6	3.1	4.1	5.1	4.1
2me » ...	4.1	5.6	5.9	5.2	3.6	5.0	5.8	4.8	4 2	6.6	5.2	5.3
3me » ...	3 7	4.3	3.3	3.7	3.7	4.5	4.4	4.2	4.0	5.1	3.7	4.3
Mois..	3.7	4.5	4.6	4.2	3.5	4.5	4.5	4.2	3.8	5.2	4.7	4.6

COMPTE RENDU DE LA SÉANCE

DE LA

SOCIÉTÉ SUISSE DE CHIMIE

tenue à Soleure le 27 février 1915

Président: M. le Prof. L. Pelet (Lausanne).
Secrétaire: M. le Dr G. von Weisse (Lausanne).

Partie administrative. — A. Werner. Acides complexes métal-oxaliques et métal-maloniques. — Fr. Fichter. Azoture de glucinium. — W. I. Baragiola. Les cendres du vin. — O. Billeter et B. Wavre. Autoxydation des dérivés de l'acide thiocarbonique. — O. Billeter. Dosage des oxacides du soufre. — J. Lifschitz. Synthèse de dérivés pentazoliques. — J. Piccard. Vitesses de réaction. — D. Reichinstein. Le principe de déplacement. — P. Pooth. Influence du groupe sulfonique et d'autres radicaux sur la coloration des azométhines. — A. Küng. Expériences de cours. — G. Oesterheld. La fusion du carbone.

Le Président présente un rapport succinct sur l'activité du Comité et de la Société en 1914. Il est donné connaissance des comptes de l'exercice 1913-14 et du rapport des commissaires-vérificateurs. Les comptes sont adoptés et la gestion du Comité approuvée. La Commission de l'Exposition présente son rapport, lequel est adopté à l'unanimité.

Le Comité Werner rend compte de son mandat; les plaquettes ont été distribuées à tous les ayants-droit dont l'adresse était connue; il en reste un certain nombre à expédier. Cet envoi sera exécuté dès que les destinataires pourront être atteints. Les comptes du comité Werner ont été vérifiés; il en est donné connaissance et ils sont approuvés. L'assemblée décide de consacrer le solde restant des comptes du comité Werner, soit 800 francs environ, ainsi qu'une somme de 500 francs provenant d'un don de M. Werner à la Société suisse de Chimie, à un fonds qui portera le nom de *fonds Werner* et dont les intérêts seront accumulés jusqu'à concurrence de 200 francs pour être distribués sous

le nom de *prix Werner*. Un règlement du prix Werner, rédigé par M. le Prof. Bistrzycki, est adopté par l'assemblée.

Le comité élu en 1913 devrait être renouvelé, mais, vu les circonstances, l'assemblée décide de prolonger ses pouvoirs d'une année.

Sur la proposition de MM. Guye, Werner et Fichter, le Comité a étudié la question de l'inscription de la Société suisse de Chimie au Registre du Commerce. Cette inscription est admise par l'assemblée et les modifications aux statuts proposées par le Comité en vue de cette inscription sont adoptées en deux débats.

Le Président donne lecture d'un télégramme de M. le Prof. Noelting à Mulhouse qui a été empêché par les circonstances d'assister à la séance. Il est également donné connaissance de lettres semblables de MM. les Prof. Rupe et Pictet.

La prochaine séance d'été aura lieu à Genève à l'occasion du 100e anniversaire de la Société Helvétique des Sciences naturelles. Cette session sera présidée par notre collègue M. le Prof. Pictet qui invite les chimistes suisses à y assister nombreux.

Neuf candidats sont présentés et admis comme nouveaux membres. Le Comité donne connaissance du décès de trois de nos membres : M. le Dr F. Régis à Lonay-sur-Morges, M. le Dr O. Scheuer et M. H. Willer, ces deux derniers morts au champ d'honneur, faisant partie l'un de l'armée autrichienne, l'autre de l'armée allemande. Sur l'invitation du Président, l'Assemblée se lève pour honorer leur mémoire.

Communications scientifiques

A. Werner (Zurich). — *Acides complexes métal-oxaliques et métal-maloniques.*

L'étude des acides chrome-oxaliques a conduit l'auteur à la découverte d'un acide diaquo-dioxalo-aluminique :

$$\left[\begin{matrix} (OH_2)_2 \\ Al \\ (C_2O_4)_2 \end{matrix}\right] H$$

Cet acide correspond entièrement à l'acide chrome-oxalique rouge; il est monobasique et ses sels présentent une réaction faiblement acide. Ceux-ci ont pu être préparés sans eau hydratique extraradicale; ils possèdent la formule :

$$\left[\begin{matrix} (OH_2)_2 \\ Al \\ (C_2O_4)_2 \end{matrix}\right] R$$

Ils passent à l'état de combinaisons bibasiques à réaction alcaline :

$$\left[\begin{matrix} HO \\ \\ H_2O \end{matrix} Al(C_2O_4)_2 \right] R_2$$

Les acides les retransforment en sels monobasiques. Au point de vue de leur configuration, ils appartiennent à la série *trans*, car ils ne se transforment pas en sels *diol*.

L'auteur a préparé aussi des combinaisons complexes malonatochromiques. Les sels de l'acide trimalonatochromique :

$$[Cr(C_3H_2O_4)_3]R_3$$

se distinguent par leur stabilité et cristallisent très bien. Ils n'ont pas pu être dédoublés en formes actives.

Deux séries stéréoisomériques de combinaisons diaquo-dimalonatochromiques ont été préparées :

$$\left[\begin{matrix} (OH_2)_2 \\ Cr \\ (C_3H_2O_4)_2 \end{matrix}\right]$$

La série *trans* est rouge-bleu, la série *cis* bleue. Les deux séries peuvent être transformées en sels bibasiques isomériques :

$$\left[\begin{matrix} HO \\ \\ H_2O \end{matrix} Cr(C_3H_2O_4)_2 \right] R_2$$

F. Fichter (Bâle). — *Azoture de glucinium.*

Après avoir élaboré avec M. Jablczinski une méthode de préparation du glucinium métallique pur, l'auteur a étudié, en collaboration avec M. *Brunner*, la réaction de cet élément sur l'azote. Le métal pulvérisé se combine entre 1000° et 1100° à l'azote pour former l'azoture de glucinium, Be_3N_2, poudre presque blanche et d'apparence amorphe. Le rendement est meilleur lorsqu'on remplace l'azote par l'ammoniaque, car l'hydrogène provenant de la dissociation de ce dernier empêche l'oxydation du glucinium, qui est très oxydable. Il est à remarquer que l'action de l'ammoniaque ne donne pas lieu à la formation d'une imide ou d'une amide, mais qu'il se forme l'azoture.

L'azoture de glucinium, chauffé en présence d'azote dans un tube en ferro-tungstène, devient cristallin entre 1800° et 1900°; rapidement chauffé à 2200°, il fond et donne une masse cristalline transparente. A 2240° il se dissocie en métal et azote.

La couleur grise de l'azoture préparé à partir du métal fondu provient d'une faible quantité de carbone, dûe à ce que le métal attaque les anodes en charbon. La transformation du carbure en azoture, avec mise en liberté de carbone, commence entre 1000° et 1200°; elle est complète à 1900° et a lieu selon l'équation :

$$3Be_2C + 2N_2 = 2Be_3N_2 + 3C$$

On obtient ainsi l'azoture pur, et non pas une combinaison qui correspondrait à des cyanures ou à des cyanamides. Il paraît que seuls les carbures dérivant de l'acétylène fournissent des cyanamides, tandis que chez ceux qui dérivent du méthane le carbone est simplement remplacé par l'azote.

W. I. Baragiola (Wædenswil). — *Les cendres du vin.*

En collaboration avec MM. *Godet* et *Schuppli*, l'auteur a analysé les cendres d'un grand nombre de vins. Dans 60 à 80 échantillons de cendres provenant de 50 cm³ de différents vins, le poids moyen des cendres d'un litre de vin a été déterminé avec une approximation de ± 0,001 gr. L'analyse donne directement les quantités de $K^{\cdot}$, $Na^{\cdot}$, $Ca^{\cdot\cdot}$, $Mg^{\cdot\cdot}$, $Al^{\cdot\cdot\cdot}$, $Fe^{\cdot\cdot\cdot}$, $Mn^{\cdot\cdot}$, $Cu^{\cdot\cdot}$, SO_4'', PO_4''', Cl', SiO_3'', CO_3''. L'oxygène des oxydes est donné par la différence des sommes des cations et des anions exprimés en millivals (milligramme-équivalents). Pour ne pas fausser cette valeur par toutes les erreurs de l'analyse, on peut la déterminer selon *C. Mensio* par l'équation :

Oxygène des oxydes = Alcalinité de Farnsteiner — Résidu carbonaté.

L'intérêt principal de ces analyses réside dans la somme des cations, leur connaissance étant nécessaire pour la détermination du degré de saturation des acides du vin. Ces derniers sont combinés aux cations des cendres, à l'ammonium et aux bases organiques. La somme des cations est donnée par celle des anions SO_4'', PO_4''', Cl', plus l'alcalinité de Farnsteiner. Cette simplification est admissible tant que les cendres sont assez alcalines et ne contiennent que des orthophosphates. Des cendres faiblement alcalines provenant de vins riches en phosphates peuvent renfermer l'acide phosphorique à l'état de pyrophosphate ou de métaphosphate. C'est le cas pour des vins de mauvaises années du lac de Zurich. Le dosage des cendres de ces vins présente des difficultés qui n'ont pu être surmontées que partiellement. Une nouvelle méthode de dosage de l'ammonium a été élaborée et sera publiée prochainement. Le dosage des bases organiques est encore très incertain.

O. Billeter et B. Wavre (Neuchâtel). — *Sur l'autoxydation des dérivés de l'acide thiocarbonique.*

Les dialcoylxanthogénamides, par exemple $CS \cdot OCH \cdot N(CH_3)_2$, subissent, en présence de bases fixes, une autoxydation nette consistant en ce que le soufre est remplacé par de l'oxygène; le soufre est lui-même transformé en un mélange d'oxysels dans lequel prédominent les sels d'un nouvel acide de la formule $S_3O_5H_2$; l'*acide trithioneux*. L'ammoniaque empêche cette autoxydation. *Marcel Delépine* a remarqué le premier que les autoxydations de ce genre sont accompagnées d'un phénomène de phosphorescence; il le constata chez plusieurs autres dérivés de l'acide thiocarbonique, notamment CS.(OR), CS.OR.SR, CS.R.OR, CS.Cl.OR, $CSCl_2$. En réalité, tous ces corps fument à l'air, mais dans les conditions où les xanthogénamides s'autoxydent normalement et rapidement, c'est-à-dire en présence de bases fixes, ils n'absorbent pas d'oxygène en quantité appréciable. Par contre, ils s'autoxydent avec une grande rapidité et dans le sens indiqué ci-dessus en présence de l'ammoniaque. Toutefois, dans ces conditions, il ne paraît pas se former de trithionites.

O. Billeter (Neuchâtel). — *Sur le dosage des oxacides du soufre dans leurs mélanges.*

La solution aqueuse résultant de l'autoxydation de la diméthylxanthogénamide renferme un mélange de thiosulfate, de sulfite, de trithionite, de trithionate et de sulfate alcalins. Lorsque l'auteur entreprit ses recherches, il n'existait pas de bonne méthode pour doser les sulfites à côté des thiosulfates. Il a employé, pour le dosage des sulfites, une méthode basée sur la réaction suivante :

$$SO_3Na_2 + S_2Na_2 = S_2O_3Na_2 + SNa_2$$

On titre à chaud et dans un courant d'acide carbonique, au moyen d'une solution normale de bisulfure de sodium. La persistance de la couleur jaune du bisulfure indique la fin de la réaction. Cependant, vers la fin, la coloration jaune ne disparaît plus que très lentement et la réaction finale est difficile à saisir. L'auteur a trouvé que l'addition d'une petite quantité d'ammoniaque (1,25 cm^3 de solution double normale) obvie à cet inconvénient. La solution est ensuite additionnée d'acide acétique et l'hydrogène sulfuré chassé dans le vide; puis on titre le thiosulfate total par l'iode. Le trithionite se comporte à l'égard du bisulfure comme un mélange de sulfite et de thiosulfate; l'iode le transforme en trithionate :

$$S_3O_5Na_2 + I_2 + H_2O = S_3O_6Na_2 + 2IH$$

Pour le dosage du trithionate, on peut utiliser sa transformation

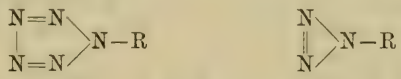
nette en thiosulfate par l'action du sulfure de potassium (Chancel et Diacon).

Enfin l'acide sulfurique se laisse le mieux doser par différence (soufre total dosé comme acide sulfurique après oxydation par le brome, moins soufre contenu dans les autres acides).

MM. *H. Berthoud, O. Pistorius* et *B. Wavre* ont coopéré à cette recherche.

J. Lifschitz (Zurich). — *Synthèse de dérivés pentazoliques.*

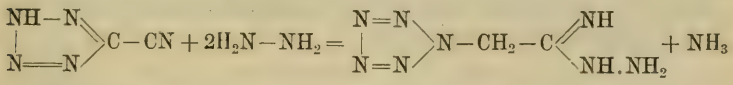
On sait que, malgré de nombreux essais, la synthèse des pentazols, N_5R, n'a pu encore être réalisée. Il n'y a cependant pas de raison d'admettre l'impossibilité de l'existence de ces composés, vu qu'ils sont les derniers termes de la série des azols, corps plus ou moins stables et dont, au surplus, la stabilité augmente avec leur teneur en azote. Les pentazols sont, en outre, par leur structure (formule I), les homologues les plus rapprochés des azides (formule II), lesquelles sont également assez stables et relativement faciles à préparer.



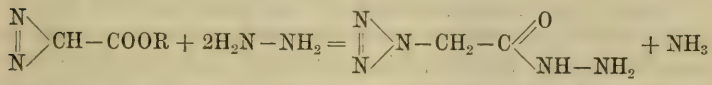
(I) (II)

L'auteur a obtenu un résultat positif en procédant selon la méthode suivante :

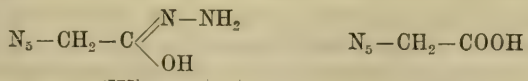
En faisant agir l'hydrate d'hydrazine en solution alcoolique sur le nitrile du tétrazol, il a obtenu, selon l'équation suivante, et avec le rendement théorique, l'hydrazidine pentazido-acétique :



La réaction est analogue à celle de Curtius :



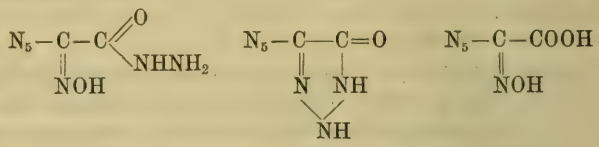
L'hydrazidine, portée à l'ébullition avec de la potasse aqueuse fournit l'hydrazide III :



(III) (IV)

L'auteur a pu en préparer un sel de potassium et un sel de baryum bien définis. Cette hydrazide, oxydée en solution alcaline par le permanganate, donne un acide (IV), dont le sel d'argent a été

obtenu à l'état de pureté. Ces réactions montrent que le corps obtenu dans la première réaction doit être un dérivé pentazolique; l'action de l'acide nitreux sur l'hydrazidine et sur l'hydrazide exclut toute autre interprétation ; elle fournit avec un rendement faible une oxime (V), qui se transforme facilement en une triazolone (VI).



(V) (VI) (VII)

L'acide chlorhydrique alcoolique transforme l'oxime V en un α-oximido-acide (VII). Le sel d'argent de cet acide est jaune et instable; il se convertit facilement en un sel rouge vineux qui détone violemment et qui correspond probablement à la formule VIII.

$N_5CH = NO \cdot Ag$ (VIII) $N_5CO-COOH$ (IX)

Le corps VII se transforme dans le corps IX *(pentazide de l'acide oxalique)* lorsqu'on le porte à l'ébullition avec de la potasse. Lorsqu'on acidule ensuite la solution par l'acide azotique, le corps IX se décompose en N_5H et acide oxalique. Si l'on introduit du nitrate d'argent dans cette solution, il se forme un précipité blanc, $AgN_5 . AgCO_2$-COOH, qui renferme déjà du pentazol libre.

L'auteur se propose d'étudier les moyens d'isoler ce dernier, dont la synthèse sera ainsi totale.

J. Piccard (Lausanne). — *Vitesses de réactions.*

L'auteur fait la démonstration de quelques réactions dont la marche, accompagnée d'un très visible changement de couleur, se laisse facilement observer. L'oxydation de bases incolores conduisant à des matières colorantes est une réaction mono ou polymoléculaire (par rapport à la base primaire) suivant que la molécule du colorant est formée d'une ou de plusieurs molécules de la base primaire. La vitesse du premier genre de réaction est indépendante de la concentration, tandis que celle du second genre augmente avec la concentration de la base primaire. L'auteur, pour démontrer le premier genre de réaction, dissout 1 gr. de chlorhydrate de diaminophénol dans 10 cm³ d'eau et verse les deux moitiés de cette solution dans deux verres. Il ajoute ensuite dans le premier de ces verres 100 cm³ et dans le second 500 cm³

d'une solution oxydante (3 gr. d'alun de fer, 20 cm³ d'acide sulfurique et 1000 cm³ d'eau). Dans le second verre, la vitesse de réaction sera, par unité de volume, 5 fois plus petite que dans le premier. En regardant d'en haut, on observe une augmentation graduelle de la couleur qui est parfaitement identique dans les deux verres, puisque dans le second l'épaisseur de la couche est aussi 5 fois plus forte. *Une* molécule de diaminophénol engendre *une* molécule d'aminoquinone-imine.

Si, en revanche, on considère une réaction bimoléculaire (par rapport à la base primaire), c'est-à-dire la formation d'une molécule de matière colorante à partir de deux molécules de base primaire, la vitesse de la réaction sera dans le second verre $5 \times 5 = 25$ fois plus petite. Vue d'en haut, la formation de la couleur sera donc dans le second verre 5 fois plus lente que dans le premier. Une réaction de ce genre est, dans sa première phase, l'oxydation de l'aniline. L'auteur dissout 1 gr. de chlorhydrate d'aniline dans 10 cm³ d'eau et introduit dans chaque verre la moitié de cette solution. Il ajoute ensuite la solution oxydante (3 gr. de bichromate de potasse, 40 cm³ d'acide sulfurique et 1000 cm³ d'eau) dont il met de nouveau 100 cm³ dans le premier verre et 500 cm³ dans le second. En observant d'en haut, on remarque très vite dans le premier verre la formation du noir d'aniline, tandis que dans le second la réaction ne devient visible qu'au bout d'un long moment. La formation du noir d'aniline est donc, dans sa première phase, une réaction au moins bimoléculaire.

De même que l'on peut démontrer que la formation d'une matière colorante est une réaction mono ou bimoléculaire, on peut le faire aussi d'une décomposition. L'auteur dissout en même temps 0gr,1 de chlorhydrate d'aminoquinone-imine dans 1 cm³ d'eau, et 0gr,1 dans 500 cm³. La première de ces solutions se décompose déjà en une minute, tandis que la seconde garde sa belle couleur pendant des heures (réaction bimoléculaire). La différence devient plus frappante encore si l'on dilue au bout d'une minute la première solution aussi au volume de 500 cm³. Si la réaction était monomoléculaire, on n'observerait aucune différence de couleur entre les deux solutions. La décomposition de la tétra-anisylhydrazine de Wieland a été ainsi reconnue par l'auteur au moyen du colorimètre comme étant une réaction « demi-moléculaire ». C'est la portion de cette substance à laquelle on a ajouté le plus de dissolvant (benzène) qui brunit le plus vite. La formation du produit brun de décomposition n'est donc pas une réaction se passant entre les molécules de la tétra-anisylhydrazine, mais entre des demi-molécules de cette substance, c'est-à-dire entre des molécules de dianisylazote ($(CH_3OC_6H_4)_2 = N -$), dont le nombre absolu est naturellement plus grand dans la solution diluée.

D. Reichinstein (Zurich). — *Le principe de déplacement.*

Si un solide est en contact avec une phase liquide ou gazeuse qui renferme les corps A, B, C, et si ces corps sont adsorbés par la surface du solide, ils formeront avec la substance de ce dernier, dans le volume d'adsorption (autrefois appelé volume d'électrode et dont l'épaisseur est estimée par le calcul à $4{,}127 \times 10^{-5}$ mm.), une solution solide douée d'une propriété différente de celles des solutions ordinaires. Cette propriété s'exprime comme suit : *La somme des masses actives dans le volume d'adsorption est indépendante des concentrations des matières dans la phase voisine liquide ou gazeuse.* L'augmentation de la concentration d'une des matières dans la phase liquide ou gazeuse sera donc suivie d'une diminution de la concentration d'autres substances dans le volume d'adsorption (= déplacement).

La dissolution du nickel dans un mélange de solutions d'acide sulfurique et d'eau oxygénée peut être représentée par les réactions suivantes :

1) Adsorption de H_2O_2, H_2SO_4 et H_2O par la surface du nickel, qui donnera lieu aux réactions suivantes :
2) $H_2O_2 = H_2O + O$;
3) $2O = O_2$;
4) $Ni + O + 2H^{\cdot} = Ni^{\cdot\cdot} + H_2O$.

La vitesse *(v)* de dissolution du nickel (réaction 4) est, selon la cinétique chimique,

$$v = k_1 . y . x ,$$

si la solubilité des ions $H^{\cdot}$ est relativement grande; y et x représentent les concentrations des atomes Ni et O. Selon le principe de déplacement :

$$y + x = a ,$$

si les autres concentrations sont pratiquement invariables; a est une constante. Il s'en suit :

$$v = k_1 . a . x - k_1 . x^2 .$$

L'accumulation temporaire des atomes d'oxygène dans le volume d'électrode est donc selon 2), 3) et 4) donnée par les deux équations :

$$\frac{dx}{dt} = k_2(H_2O_2) - k_3x^2 - v ,$$

$$v = k_1ax - k_1x^2 .$$

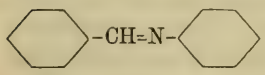
Ces équations résolvent le problème à la condition que O_2 soit pratiquement insoluble dans le volume d'adsorption. Si ce n'est pas le cas, O_2 diminuera dans le volume d'électrode la concentra-

tion des substances réagissantes et par conséquent aussi la vitesse de réaction.

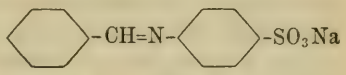
En dissolvant le nickel dans un mélange d'acide sulfurique et d'anhydride chromique, l'auteur a réussi à obtenir des vitesses de dissolution stationnaires. La partie principale de la courbe v, z — où z représente la concentration de l'acide chromique — est une parabole. La courbe v, z concorde bien avec celle obtenue par le calcul basé sur le principe de déplacement.

P. Pooth (Fribourg). — *L'influence du groupe sulfonique et d'autres radicaux sur la coloration des azométhines.*

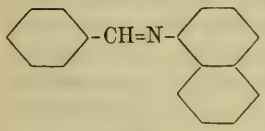
L'auteur a comparé, au point de vue de leurs couleurs, les combinaisons dont les restes aldéhydiques sont nitrés ou hydroxylés et dérivent des types primitifs suivants :



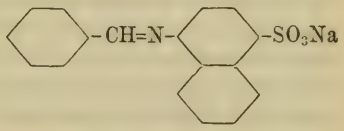
(I)



(II)



(III)



(IV)

Si le groupe sulfonique entre dans le chromogène simple (I), le produit ne change pas de teinte; au contraire, s'il entre dans le noyau de la naphtaline (III), il rend la teinte plus foncée. On avait déjà constaté que le groupe NO_2, introduit dans le reste aldéhydique, renforce le plus la teinte dans la position para, puis dans les positions ortho et méta; tandis que chez les composés hydroxylés, le dérivé ortho est le plus fortement coloré, les dérivés méta et para sont presque incolores.

Ces règles, valables pour les combinaisons du type I, le sont aussi pour celles du type III, ainsi que quelques auteurs l'avaient déjà constaté pour certaines combinaisons; en poursuivant ses recherches, l'auteur a constaté que le changement de teinte est notablement plus prononcé par suite de l'agrandissement du noyau. Dans les combinaisons nitrées du type II, le groupe SO_3 conserve au groupe NO_2 les mêmes facultés colorantes quant à sa position, mais la présence de SO_3 affaiblit les teintes; tandis que les combinaisons du type IV sont plus fortement colorées par sa présence.

De même que chez les azométhines non sulfonées, la position

ortho des dérivés du type II et IV a la plus grande importance au point de vue de l'intensité de la couleur; cependant celle-ci est moins apparente à cause de l'action hypsochrome du groupe sulfonique.

A. Küng (Soleure). — *Nouvelles expériences de cours.*

1. *Rapports volumétriques entre le monoxyde, le dioxyde et le tétroxyde d'azote.*

L'auteur a inventé un appareil qui permet de démontrer la réaction suivante :

$$\underset{2\text{ vol.}}{2NO} + \underset{1\text{ vol.}}{O_2} = \underset{1\text{ vol.}}{N_2O_4} = \underset{2\text{ vol.}}{2NO_2}$$

L'appareil se compose de deux vases reliés par un robinet à trois voies et pouvant être fermés à leurs extrémités par des robinets simples. L'un des vases, d'une capacité de 50 cm³ (= 1 vol.), est rempli d'oxygène, l'autre, de 100 cm³ (= 2 vol.), contient de l'oxyde d'azote incolore. Lorsqu'on ouvre le robinet à trois voies, les deux gaz entrent en réaction et forment des oxydes supérieurs. Le volume de ces derniers est à la pression atmosphérique plus grand que 50 cm³ à cause de la dissociation partielle du tétroxyde. Pour le mesurer on n'a qu'à introduire du mercure sec. Lorsqu'on connaît le volume du mélange des gaz NO_2 et N_2O_4, on peut calculer leur degré de dissociation. Les valeurs ainsi obtenues concordent parfaitement avec celles de Sainte-Claire Deville et de Troost calculées à partir de la densité de vapeur. A une température plus élevée, on arrive facilement à une dissociation complète. Pour bien réussir cette expérience, il est indispensable que les gaz, le mercure et l'appareil même soient parfaitement secs.

2. *Dissociation thermique de quelques combinaisons hydrogénées, pour démontrer les valences.*

Quatre tubes eudiométriques sont pourvus chacun d'un robinet et d'une spirale en fil de fer. Le premier est rempli de gaz chlorhydrique, le second d'hydrogène sulfuré, le troisième d'hydrogène phosphoré pur et le quatrième de méthane. Dans le tube contenant l'hydrogène phosphoré la spirale doit être cuivrée par voie galvanique. En chauffant à l'incandescence les spirales dans les quatre tubes au moyen d'un courant électrique, on obtient dans le premier eudiomètre un demi-volume d'hydrogène, dans le second un volume égal à celui de l'hydrogène sulfuré, dans le troisième trois demi-volumes et dans le quatrième deux volumes. La décomposition est plus rapide que lorsqu'on se sert d'étincelles d'induction, et le procédé est plus simple qu'avec l'arc. Avec ce dernier, le gaz iodhydrique seul se laisse décomposer, tandis que l'on peut décomposer le gaz chlorhydrique par le nouveau procédé.

G. Oesterheld (Bâle). — *La fusion du carbone.*

La fusion du carbone dans l'arc électrique a été observée pour la première fois par Lummer il y a peu d'années. Cette observation a été mise en doute par plusieurs savants qui partageaient l'idée de Crookes que la fusion du carbone ne serait réalisable qu'à des pressions très élevées, et qui objectaient aussi que la formation de gouttelettes de carbone ne se produit pas.

A propos de ces objections, il faut remarquer que l'hypothèse de Crookes n'est basée sur aucun fait expérimental. Le phénomène observé par Lummer serait bien difficile à interpréter autrement que par la fusion. L'accord avec la règle des phases est obtenu en admettant que la pression au point triple est inférieure à 0,2 atm. (probablement voisine de 0,1) et que la pression critique est peu supérieure à 2 atm. La tension de vapeur du carbone au point de fusion étant relativement considérable, dans les conditions de l'arc électrique seule une couche extrêmement mince est portée à cette température et alors la quantité de liquide est trop faible pour s'agglomérer en gouttes.

Pour fondre de plus grandes quantités de carbone, l'auteur a opéré dans une atmosphère d'azote sous une pression réduite, en se servant d'un chauffage à résistance qui permet de porter à la température de sa fusion un petit bloc de carbone. Comme il est toutefois impossible de réaliser la tension de saturation des vapeurs du carbone, il faut localiser celles qui se produisent à la surface du solide en éliminant toutes les causes de ventilation et en créant un coussinet de vapeur dense autour du bloc. Le chauffage exige de fortes dépenses d'énergie qui traverse à coups rapides le bloc. Dans ces conditions, la température de fusion, qui est voisine de 4000° abs., s'établit avant que la vapeur se répartisse uniformément dans l'espace du four. L'auteur présente plusieurs petits morceaux de carbone qu'il a traités de cette manière et qui portent tous les caractères de corps ayant subi une fusion partielle.

Cette communication est continuée à l'usine à gaz par la démonstration au projecteur de divers aspects du cratère liquide agrandi 40 fois et réalisé par l'arc électrique à des pressions variant de 0,06 à 1 atm.

BULLETIN SCIENTIFIQUE

PHYSIQUE

A. Righi. Le rotazioni ionomagnetiche. *Attualita Scientifiche*. Conferenza tenuta il 1° nov. 1914. N. Zanichelli Edit. Bologna.

La série des *Attualita Scientifiche* vient de s'enrichir d'un nouveau volume. C'est une conférence que le Professeur Righi a faite au Congrès de l'*Associazione Elettrotecnica Italiana* qui eut lieu à *Bologna* en 1914. L'auteur y a ajouté de nouvelles explications soit pour rendre plus complète l'exposition de ses récentes expériences, soit pour donner un développement plus large à quelques raisonnements qui, dit-il, dans la fougue de l'improvisation étaient réussis par trop concis.

Dans ce volume, comme dans tous ses écrits scientifiques, le Professeur Righi est d'une clarté vraiment rare, il y résume avec une magistrale correction l'importante partie de l'évolution actuelle de la physique basée sur la théorie électronique. L'auteur y relate les nombreuses séries d'expériences, qui, après sa découverte des rayons magnétiques, lui ont permis d'en établir la nature probable et ensuite celle de ces *rotations ionomagnétiques* que l'on peut considérer comme une confirmation expérimentale de l'explication électronique générale des phénomènes dynamoélectriques et magnétoélectriques.

Le volume est illustré par 16 figures insérées dans le texte.

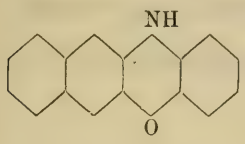
Th. T.

CHIMIE

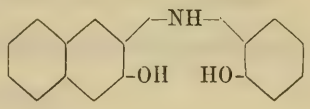
F. Kehrmann et A. Neil. — Synthèse dans le groupe des azoxines (*Ber. d. D. chem. Ges.* t. 47 (1914), p. 3103-3109; laboratoires de chimie organique des Universités de Genève et de Lausanne).

Les auteurs ont fait la synthèse de la *benzo-2-3-phénazoxine* (I) en chauffant, dans un courant d'acide carbonique, un mélange intime d'o-amino-phénol et de dioxy-2-3-naphtalène et ils ont constaté qu'il se formait en même temps dans cette réaction,

comme produit secondaire, l'*oxyphényl-2-oxy-3-naphtylamine-2* (II). La benzophénazoxine



(I)



(II)

elle-même est en feuillets incolores et brillants f. à 302°, tandis que le produit secondaire f. à 155-156°. Ce dernier se dissout incolore dans l'acide sulfurique, mais il se transforme lorsqu'on chauffe en azoxine, de même que lorsqu'on expose quelque temps à l'action de l'air sa solution aqueuse additionnée d'acide chlorhydrique. La benzophénazoxine fournit par nitration des *dérivés mono et tétranitrés*.

La formation de cette combinaison, à la pression ordinaire, a engagé les auteurs à essayer dans les mêmes conditions la préparation de la phénazoxine, qui avait été obtenue par Bernthsen en chauffant sous pression l'o-aminophénol et la pyrocatéchine, et ils ont constaté qu'elle se formait en chauffant l'o-aminophénol avec la pyrocatéchine, en présence de chlorhydrate d'aminophénol ou même, sans pyrocatéchine, en chauffant l'o-aminophénol avec son chlorhydrate en atmosphère d'acide carbonique.

MESURES DU COURANT ÉLECTRIQUE

PASSANT DE L'ATMOSPHÈRE A LA TERRE

faites chaque jour à Altdorf et à Fribourg, entre 1 h. 30 et 2 h. du soir

MARS 1915

Date	Altdorf			Fribourg			Temps
	λ	P. G,	Court	λ	P. G.	Court	
1	180	258	155	*Manquent pour cause d'endommagement de l'appareil*	183	*Manquent pour cause d'endommagement de l'appareil*	Couvert, pluvieux.
2	228	> 400	—		215		Neige.
3	178	92	54		192		Beau Altdf, couv. Fribg.
4	107	92	39		> 300		Beau.
5	130	103	45		213		Couvert.
6	140	50	23		-70 à +190		Pluvieux.
7	300	52	52		71		Couvert.
8	195	84	55		—		»
9	150	70	35		-20		Neige.
10	135	75	34		172		Beau.
11	178	49	29		213		Neige.
12	123	102	42		243		Beau.
13	178	127	75		203		»
14	—	—	—		101		Pluie à Altdorf.
15	252	81	68		140		Beau.
16	197	88	58		161		Très beau.
17	193	60	39		349		» »
18	229	73	56		171		Beau.
19	277	75	69		50		Couvert.
20	150	78	41		141		»
21	235	70	55		348		Très beau.
22	162	101	55		171		Beau.
23	—	—	—		151		»
24	209	60	42		81		Beau Altdf, couv. Fribg.
25	306	37	38		-495		Pluie.
26	224	95	71		171		Couvert.
27	182	96	58		-110 à -430		» pluie Fribourg.
28	222	52	38		-340 à -40		» » »
29	134	40	18		90		» neige Altdorf.
30	214	38	27		121		» à la pluie.
31	200	56	37		141		» » »

Abréviations

λ = conductibilité par ions négatifs et positifs en unités électrostatiques $\times 10^6$

P. G. = gradient du potentiel en volts par mètre, réduit sur terrain plat

Courant vertical, en unités électrostatiques $\times 10^6$

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES A

L'OBSERVATOIRE DE GENÈVE

PENDANT LE MOIS

DE MARS 1915

Le 1, pluie à 7 h. du matin et de 1 h. à 7 h. du soir.
2, neige à 7 h. du matin.
les 4 et 5, gelée blanche le matin.
le 6, pluie de 9 h. à 10 h. du soir et dans la nuit.
7, pluie de 7 h. à 9 h. 1/2 du matin et de 1 h. à 8 h. 1/2 du soir.
8, pluie de 8 h. à 9 h. 1/2 du matin et de 2 h. à 8 h. 1/2 du soir ; forte bise depuis 9 h. du soir.
les 9 et 10, violente bise.
12 et 13, gelée blanche le matin.
le 14, pluie de 6 h. à 7 h. du soir.
17, gelée blanche le matin.
18, pluie dans la nuit.
19, petites averses dans la matinée.
20, très forte bise.
22, gelée blanche le matin ; pluie de 2 h. à 4 h. du soir.
23, pluie dans la nuit.
24, pluie de 8 h. à 11 h. du matin ; arc-en-ciel à 5 h. du soir.
25, pluie de 7 h. à 8 h. du matin et dans la nuit.
26, forte bise et pluie dans la nuit.
27, pluie de 8 h. à midi, de 2 h. à 10 h. du soir et dans la nuit.
28, pluie de 7 h. à 11 h. du matin, de 1 h. à 8 h. du soir et dans la nuit.
29, pluie de 7 h. à 8 h. du matin.
30, pluie de 8 h. à 9 h. du matin et de 1 h. à 5 h. du soir ; arc-en-ciel à 5 h. 15 du soir.
31, forte bise depuis 8 h. du soir.

GENÈVE — MARS 1915

Jour du mois	Pression atmosphérique 700mm + 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 8 Obs.	Ecart av. la norm.	Barographe Min.	Max.	Vent 7 h.	1 h.	9 h.	Dominant	Vit. moy. kil. h.	Nébulosité 7 h.	1 h.	9 h.	Moy. 6 obs.	Durée d'insolation	Pluie Hauteur 24 h.	Nombre d'heures
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm										h.	mm.	
1	24.5	21.8	22.8	23.51	- 2.32	21.2	26.4	SSW. 2	SSW. 3	SSW. 1	SSW. 2	19.6	10	10	9	10	0 0	3 2	6
2	26.3	28.0	29.7	27.35	+ 1.59	24.3	30.1	SSW. 1	NW. 1	SE. 1	var.	5.2	3	3	9	5	4.1	....	....
3	29.6	29.5	29.5	29.58	+ 3.88	28.7	30.1	SW. 1	NNE. 1	SSW. 1	NNE. 1	3.4	1	1	1	2	9.2	....	....
4	29.9	29.9	31.7	30.29	+ 4.65	29.7	32.2	SSE. 1	NNE. 1	NNE. 1	NNE. 1	2.3	6	1	0	2	8.3	....	....
5	34.0	34.0	33.7	**33.71**	**+ 8.13**	32.2	**34.6**	SSW. 1	SW. 1	NNE. 1	calme	0.6	3	7	0	5	5.4	....	....
6	32.8	31.5	27.3	31.20	+ 5 67	26.0	33.9	SE. 1	SW. 2	SW. 2	SW. 1	7.5	9	9	10	9	4.0	9.8	10
7	24.1	22.6	18.7	22.21	- 3.26	18.5	26.0	SSW. 1	NW. 1	SW. 1	SSW. 1	4.6	9	10	9	10	0.0	6.7	8
8	18.7	18.3	20.2	18.90	- 6.51	18.2	20.2	S. 1	N. 1	NNE. 2	NNE. 1	7.1	9	9	10	8	1.6	....	....
9	22.2	23.5	25.5	23.04	- 2.32	20.0	25.8	NNE. 4	NNE. 4	NNE. 4	NNE. 4	**44.6**	4	4	10	7	6.1	....	....
10	26.2	26.9	29.0	27 05	+ 1.75	25.5	29.1	NNE. 4	NNE. 4	NNE. 3	NNE. 3	36.8	8	1	0	2	7.8	....	....
11	28.1	26.8	26.4	27.34	+ 2.09	25.6	29.0	SE. 1	NNE. 1	NW. 1	NNE. 1	4.2	9	9	5	6	1.5	....	....
12	27.0	28 5	30.3	28.11	+ 2.91	26.2	30.6	NNE 1	NNW. 1	S. 1	NNW. 1	7.3	7	2	0	4	7.7	....	....
13	31.4	30 7	30.7	30.78	+ 5.63	30.2	31.7	SSW. 1	NNE. 1	SSW. 1	NNE. 1	3.4	0	4	0	2	6.9	....	....
14	29.5	28.1	28.4	28.74	+ 3.64	27.1	30.2	SE. 1	NNE. 1	NNW. 1	NNE. 1	6.1	4	6	1	5	7.6	0.2	1
15	29.5	29.7	30.4	29 62	+ 4.57	28.6	30.9	NE. 1	NNE. 1	NNE. 0	NNE. 1	4.2	9	9	10	7	1.1	....	....
16	29.7	28.1	26.6	28.55	+ 3.54	26.1	30.9	SE. 1	NE. 1	NNE. 1	N 1	4.6	10	0	0	3	6.2	....	....
17	25.0	21.8	19.9	22.63	- 2.33	18.6	26.1	SSW. 1	NNE. 1	SSW 1	calme	0.6	0	0	0	0	10.0	....	....
18	18.4	16.1	13.9	16.55	- 8.37	13.2	18.7	SW. 1	SW. 1	SW. 1	SW. 1	9.2	0	5	10	7	5.6	3.8	4
19	12.2	12.8	16.2	13.52	-11.36	12.0	17.5	N. 1	SSW. 1	SE. 1	SSW. 1	5.4	9	10	0	6	0.9	0.1	....
20	19.5	21.2	26.6	21 71	- 3.13	17.5	27.4	NNE. 3	NNE. 3	NNE. 2	NNE. 3	28.5	2	1	0	1	**10.8**	....	....
21	30.1	31.1	32.1	30.44	+ 5.63	27.4	32.4	NE. 1	NNE. 2	SW. 1	NNE. 1	7.9	0	0	0	1	**10.8**	....	....
22	32.2	31.5	31.1	31.76	+ 6.99	30.9	32.5	S. 1	NNE. 1	SSE. 1	calme	1.5	0	9	9	7	4 4	0.8	2
23	30.7	29.2	29.5	29.87	+ 5.13	28.4	30.9	NNE. 1	SSW. 1	N 1	N 1	3.1	3	3	7	3	10.0	2 1	3
24	30.3	29.7	29.5	29.81	+ 5.10	29.0	30.6	W. 1	W. 1	SSW. 1	SSW. 1	2.5	10	9	7	8	0.0	2.7	3
25	27.4	25.4	24.1	26.13	+ 1.45	23.0	29.0	S. 1	W. 1	S 1	var.	5.4	10	8	8	8	2.9	1 8	2
26	21.0	17.7	15.1	18.57	- 6.08	14.7	23.0	NNE. 1	NNE. 2	NNE. 1	NNE. 1	10.0	8	2	10	5	8.4	2.0	2
27	13.6	12.9	11 0	12.82	-11.81	11.0	14.7	NNE. 1	NNE. 1	SW. 2	NNE. 1	6.3	10	9	10	10	0.0	**20.0**	**15**
28	10.1	10.3	13.1	**11.17**	**-13.43**	**10.0**	13.5	NNE. 1	NNE. 2	N 1	NNE. 1	10 4	9	10	9	10	0.0	3.6	13
29	14.1	15.3	15.7	14 75	- 9.83	13.4	15.9	NNE. 1	NNE. 1	NNE. 1	NNE. 1	10.0	10	10	10	10	0.0	0.6	1
30	15.4	16.4	19.1	16.71	- 7.85	15.1	20.2	N. 1	SSW. 1	SSW. 1	SSW. 1	7.3	10	10	1	10	0.5	6.6	5
31	21.8	23.6	26.2	23.18	- 1.37	20.2	27.8	SSW. 1	SSE. 1	NNE. 2	SSW. 1	11.1	9	2	5	6	7.3	....	....
Mois	24.69	24.29	24.65	24.50	- 0.53							9.05	6.2	5.6	5.2	5.8	149.1	64.0	75

Jour du mois	Température 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 8 Observ.	Ecart avec la normale	Min.	Max.	Fraction de Saturation en % 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 8 Obs.	Ecart av. la norm.	Min.	Max.	Tempér. du Rhône Midi	Ecart avec la normale	Limnimètre
	°	°	°	°	°	°	°								°	°	mm.
1	+ 3.8	+ 5.3	+ 2.8	+ 4.06	+ 1.08	+ 1.5	+ 5.7	76	67	70	75	- 4	64	93	4.8	- 0.6	1375
2	+ 1.6	5.1	2.2	2.85	- 0.24	- 0.5	6.3	67	50	61	57	**-22**	40	84	5.0	- 0.5	1380
3	- 2.6	4.0	1.8	1.42	- 1.78	- 3.7	6.7	92	47	74	67	-11	37	94	5.0	- 0.5	1380
4	- 1.8	6.8	4.3	2.98	- 0.34	- 3.2	9.4	85	44	70	68	-10	41	90	5.3	- 0.2	1365
5	- 0.4	12.7	6.2	5.46	+ 2.03	- 1.7	14.5	90	50	76	73	- 5	45	91	5.5	- 0.1	1375
6	+ 4.8	11.8	8.6	7.48	+ 3.93	+ 2.0	13.0	87	56	70	75	- 3	54	92	5.8	+ 0.2	1365
7	6.1	6.2	4.5	5.99	+ 2.33	+ 3.0	9.0	86	86	75	84	+ 7	58	94	—	—	1370
8	+ 1.6	+ 3.5	+ 0.2	+ 2.01	- 1.77	- 1.5	5.5	70	47	81	72	- 5	44	87	5.3	- 0.4	1355
9	- 0.7	0.0	- 2.5	- 0.85	- 4.75	- 3.8	0.6	88	78	75	80	+ 3	68	92	4.7	- 1.1	1410
10	- 3.1	+ 0.4	- 1.4	- **1.73**	- **5.75**	- **4.8**	1.0	67	70	68	71	- 6	61	78	3.2	- 2.6	1435
11	- 2.6	1.6	+ 1.7	+ 0.05	- 4.09	- 3.8	2.8	87	70	70	74	- 2	54	88	4.7	- 1.2	1380
12	+ 0.7	4.7	1.6	2.14	- 2.12	- 2.0	6.8	87	60	78	75	- 1	57	88	5.0	- 0.9	1390
13	- 2.3	6.2	3.4	2.14	- 2.24	- 4.0	8.2	97	58	71	75	- 1	43	98	5.5	- 0.5	1345
14	- 0.2	7.5	5.5	3.86	- 0.65	- 2.0	9.4	90	57	92	80	+ 4	55	92	—	—	1305
15	+ 4.4	8.3	5.2	5.75	+ 1.12	+ 3.0	8.6	88	71	87	82	+ 7	67	92	6.0	- 0.1	1335
16	4.5	10.9	5.4	6.12	+ 1.37	+ 3.0	12.4	83	64	88	79	+ 4	60	93	6.0	- 0.2	1335
17	0.3	8.8	7.8	5.40	+ 0.52	- 1.3	11.8	90	71	75	79	+ 4	57	92	6.0	- 0.2	1325
18	6.2	13.8	10.8	9.91	+ **4.94**	+ 4.5	15.3	80	48	70	68	- 7	46	86	6.2	- 0.1	1315
19	6.2	8.0	2.5	6.31	+ 1.18	1.5	10.2	94	75	73	79	+ 5	60	95	6.5	+ 0.2	1315
20	+ 1.8	4.6	1.8	2.60	- 2.66	+ 0.3	5.0	60	48	54	**56**	-18	46	70	6.3	- 0.1	1330
21	- 1.0	4.4	2.8	1.90	- 3.48	- 2.5	6.6	67	50	73	59	-15	48	77	—	—	1315
22	- 2.0	6.8	5.8	2.99	- 2.52	- 4.0	9.3	94	45	83	73	- 1	**34**	95	5.8	- 0.7	1275
23	+ 5.5	17.4	9.2	9.09	+ 3.45	+ 3.5	**18.5**	88	44	76	74	0	40	88	6.3	- 0.3	1255
24	8.8	13.0	10.0	**10.19**	+ 4.42	7.2	13.6	94	70	80	83	+10	66	96	6.5	- 0.2	1255
25	6.4	11.8	9.5	8.86	+ 2.96	4.5	14.0	97	75	72	79	+ 6	57	98	6.7	0.0	1290
26	7.7	9.2	6.8	7.60	+ 1.57	5.2	9.6	90	71	70	80	+ 7	65	92	7.0	+ 0.2	1255
27	4.2	6.2	8.0	5.39	- 0.78	3.0	8.0	95	85	97	**93**	+**20**	77	**99**	6.7	- 0.2	1260
28	7.0	6.8	3.0	5.76	- 0.54	2.0	8.6	94	90	90	92	+**20**	81	98	—	—	1285
29	1.7	4.1	3.3	3.02	- 3.41	0.6	5.3	93	78	78	84	+12	72	95	6.8	- 0.2	1275
30	2.8	4.9	4.1	3.65	- 2.91	1.7	6.2	86	85	81	82	-10	73	90	6.5	- 0.6	1285
31	+ 2.9	+ 8.6	+ 4.8	+ 5.35	- 1.35	+ 1.8	+ 9.8	84	53	66	68	- 4	46	87	6.5	- 0.7	1285
Mois	+ 2.33	+ 7.21	+ 1.51	+ 4.44	- 0.16	+ 0.31	+ 8.76	85	63	76	75	0			5.76	- 0.36	1330

MOYENNES DE GENÈVE. — MARS 1915

Correction pour réduire la pression atmosphérique de Genève à la pesanteur normale : + 0mm.02. — Cette correction n'est pas appliquée dans les tableaux.

Pression atmosphérique : 700mm +

	1 h. m.	4 h. m.	7 h. m.	10 h. m.	1 h. s.	4 h. s.	7 h. s.	10 h. s.	Moyennes
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1re déc.	26.62	26.35	26.84	27.19	26.59	26.22	26.76	26.91	26.68
2e »	25.15	24.83	25.02	25.15	24.38	23.98	24.53	24.99	24.75
3e »	22.51	22.22	22.42	22.60	22.11	21.81	22.19	22.48	22.29
Mois	24.69	24.39	24.69	24.90	24.29	23.93	24.42	24.72	24.50

Température.

	1 h. m.	4 h. m.	7 h. m.	10 h. m.	1 h. s.	4 h. s.	7 h. s.	10 h. s.	Moyennes
	°	°	°	°	°	°	°	°	°
1re déc	+ 1.65	+ 0.61	+ 0.93	+ 3.56	+ 5.58	+ 5.44	+ 3.61	+ 2.36	+ 2.97
2e »	1.91	1.22	1.90	5.40	7.44	7.93	5.69	3.96	4.43
3e »	4.04	3.55	4.00	6.46	8.47	7.96	6.72	5.49	5.80
Mois	+ 2.58	+ 1.85	+ 2.33	+ 5.08	+ 7.21	+ 7.14	+ 5.38	+ 3.99	+ 4.44

Fraction de saturation en %.

	1 h. m.	4 h. m.	7 h. m.	10 h. m.	1 h. s.	4 h. s.	7 h. s.	10 h. s.	Moyennes
1re décade	76	83	81	68	59	66	71	73	72
2e »	83	85	86	68	62	62	75	76	75
3e »	83	87	89	77	68	71	76	81	79
Mois	81	85	85	71	63	66	74	77	75

Dans ce mois l'air a été calme 22 fois sur 1000.

Le rapport des vents $\frac{\text{NNE}}{\text{SSW}} = \frac{146}{69} = 2.12$

Moyennes des 3 observations (7h, 1h, 9h)

	mm
Pression atmosphérique.....	24.54
Nébulosité	5.7
Température $\frac{7+1+9}{3}$ ..	+ 4°.68
Température $\frac{7+1+2\times9}{4}$ ..	+ 4°.64
Fraction de saturation.....	75 %

Valeurs normales du mois pour les éléments météorologiques, d'après Plantamour :

		mm
Press. atmosphér..	(1836-1875).	25.03
Nébulosité..	(1847-1875).	6.1
Hauteur de pluie..	(1826-1875).	17mm.3
Nombre de jours de pluie.	(id.).	10
Température moyenne...	(id.).	+ 4°.60
Fraction de saturat.	(1849-1875).	75 %

Observations météorologiques faites dans le canton de Genève

Résultats des observations pluviométriques

Station	CÉLIGNY	COLLEX	CHAMBÉSY	CHATELAINE	SATIGNY	ATHENAZ	COMPESIÈRES
Hauteur d'eau en mm.	61.1	67.0	64.4	55.8	70 4	63.3	61.7

Station	VEYRIER	OBSERVATOIRE	COLOGNY	PUPLINGE	JUSSY	HERMANCE
Hauteur d'eau en mm.	54.9	64.0	61.0	53.3	66.2	67.3

Insolation à Jussy : **104.2** h.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES AU

GRAND SAINT-BERNARD

PENDANT LE MOIS

DE MARS 1915

Les 1, 2, 7, 8, 18, 19, 27, 29 et 31, neige.
9, 10, 11, 14, 19, 20, 23, 24, 27 et 28, brouillard.
1, 2, 5, 6, 7, 8 et 11, violente bise.
18, 22 et 27, très fort vent.

Jour du mois	Pression atmosphérique 500mm + 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 3 Obs.	Ecart av. la norm.	Barographe Min.	Max.	Vent 7 h.	1 h.	9 h.	Dominant	Nébulosité 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 3 Obs.	Pluie Hauteur (24 h.)	Neige Hauteur (24 h.)
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.									mm.	cm.
1	57.7	56.2	54.5	56.1	- 3.6	54.3	58.0	NE. 1	SW. 1	NE. 5	NE. 3	7	10	10	9	12.0	20
2	56.5	59.0	61.2	58.9	- 0.8	54.8	61.6	NE. 4	NE. 3	NE. 2	NE. 3	10	10	0	7	...	...
3	62.0	63.1	64.4	63.2	+ 3.5	61 6	64.6	NE. 2	NE. 1	NE. 2	NE. 2	5	6	2	4	....	...
4	64.8	65.6	66.7	65.7	+ 6.0	64.6	67.2	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	3	2	1	2	....	....
5	67.8	68.2	68.6	**68.2**	+ **8.6**	67.2	**68.8**	NE. 2	NE. 3	NE. 4	NE. 3	10	7	0	6	....	....
6	67.5	66.5	62.0	65.3	+ 5.6	60.3	68.4	NE. 4	NE. 3	NE. 4	NE. 4	1	10	10	7	6.3	8
7	56.7	56.6	52.3	55.2	- 4.5	51.7	60.3	NE. 5	NE. 4	NE. 4	NE. 4	10	10	10	10	14.4	16
8	51.0	51 0	53.2	51.7	- 8.0	50.8	53.5	NE. 5	NE. 2	NE. 2	NE. 3	10	10	10	10	1.6	5
9	53.9	53.8	54 1	53.9	- 5.8	53.5	54.1	NE. 2	NE. 2	NE. 1	NE. 2	5	10	10	8	0.6	1
10	54.2	55.7	58.0	56.0	- 3.7	54.0	58.3	NE. 3	NE. 1	NE. 2	NE. 2	10	9	0	6	....	....
11	57.5	56.6	58.5	57.5	- 2.2	56.6	58.8	NE. 4	NE. 5	NE. 1	NE. 3	9	10	10	10	....	....
12	59.5	61.8	63.5	61.6	+ 1.9	58.8	64.2	NE. 0	SW. 0	NE. 0	calme	0	0	0	0	..	....
13	64.0	64.2	64.4	64.2	+ 4.5	63.8	64.4	NE. 1	NE. 2	NE. 1	NE. 1	0	5	4	3	....	....
14	63.7	63.0	63.8	63.5	+ 3.8	63.0	64.2	NE. 2	NE. 2	NE. 1	NE. 2	2	6	10	6	....	....
15	64.0	65 0	65.7	64.9	+ 5.2	63.8	65.7	NE. 0	NE. 0	NE. 0	calme	1	0	0	0	...	...
16	64.7	64.6	64.0	64 4	+ 4.7	63.5	65.4	NE. 1	NE. 2	NE. 0	NE. 1	0	0	0	0	....	....
17	61.6	60 8	59.6	60.7	+ 0.9	58.8	63.5	NE. 2	NE. 1	NE. 0	NE. 1	0	0	0	0	....	....
18	57.0	56.0	55.0	56.0	- 3.8	53.7	58.8	SW. 1	SW. 2	SW. 3	SW. 2	10	9	10	10	....	....
19	51.5	51.6	52.0	51.7	- 8.1	51.5	53.7	SW. 2	SW. 1	NE. 1	SW. 1	10	5	10	8	17.6	20
20	52.5	54.7	58.4	55.2	- 4.6	52.0	59.8	NE. 2	NE. 1	NE. 1	NE 1	10	7	0	6	2.0	2
21	62.1	64.1	66.3	64.2	+ 4.3	59.8	66.8	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	7	1	5	4	....	....
22	67.0	67.6	67.6	67.4	+ 7.5	66.8	67.7	SW. 2	SW. 3	SW. 3	SW. 3	0	9	9	6	....	...
23	67.3	67.4	67.7	67.5	+ 7.6	67.2	67.8	SW. 1	SW. 1	SW. 1	SW. 1	5	1	10	5	..	....
24	66.5	66.2	66.3	66.3	+ 6.3	65.8	67.7	SW. 2	SW. 1	SW. 1	SW. 1	10	10	10	10	....	....
25	64.1	62.7	60.7	62.5	+ 2 5	60.2	65.8	SW. 0	SW 1	SW. 0	SW. 0	1	4	10	5	3.0	4
26	57.6	55.8	54.1	55.8	- 4.3	53.7	60.2	NE. 1	SW. 0	SW. 1	var.	8	0	9	6	10.2	15
27	52.5	52.4	51.1	52.1	- 8.0	51.0	53.7	SW. 2	SW. 1	SW. 3	SW. 2	10	10	10	10	..	....
28	50.0	50.3	51.4	**50.6**	- **9.5**	**50.0**	51.6	SW. 1	SW. 1	SW. 1	SW. 1	10	8	10	9	**18.4**	**22**
29	51.3	52.2	53.0	52.2	- 8.0	51.2	53.0	SW. 1	SW. 0	SW. 0	SW. 0	10	8	0	6	3.3	5
30	52.8	53.8	54 8	53.8	- 6 4	52.8	55.6	NE. 0	SW. 1	NE. 1	var.	1	4	0	2	6.0	2
31	56.3	58.1	60.6	58.3	- 2.0	55.6	61.2	SW. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	10	10	0	7	....	....
Mois	59.21	59.50	59.80	59.50	- 0.21							6.0	6.2	5.5	5.9	95.4	120

GRAND SAINT-BERNARD — MARS 1915

Jour du mois	Température							Fraction de saturation en %					
	7 heures	1 heure	9 heures	Moyenne 3 Observ.	Ecart avec la normale	Minimum	Maximum	7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 3 Obs.	Min.	Max.
	°	°	°	°	°	°	°						
1	- 7.4	- 6.5	- 10.2	- 8.0	+ 0.2	- 11.3	- 6.0	80	88	89	86	74	93
2	- 14.4	- 11.6	- 15.2	- 13.7	- 5.5	- 15.4	- 10.5	100	100	100	100	87	100
3	- 9.3	- 3.4	- 5.6	- 6.1	+ 2.0	- 15.5	- 3.2	98	93	90	94	86	100
4	- 5.6	- 2.5	- 5.0	- 4.4	+ 3.6	- 5.6	- 2.0	89	87	100	92	81	100
5	- 5.8	- 2.2	- 4.2	- 4.1	+ 3.9	- 5.8	- 2.1	100	87	97	95	75	100
6	- 5.1	- 2.6	- 6.8	- 4.8	+ 3.1	- 7.0	- 2.3	86	88	100	91	54	100
7	- 7.4	- 7.2	- 8.8	- 7.8	0.0	- 10.2	- 7.0	100	100	100	100	86	100
8	- 14.0	- 9.7	- 14.2	- 12.6	- 4.8	- 14.8	- 9.4	97	99	97	98	91	100
9	- 17.4	- 13.2	- 16.2	- 15.6	- 7.9	- 17.5	- 13.0	95	95	95	95	82	97
10	- 17.5	- 15.7	- 18.2	**- 17.1**	**- 9.5**	**- 18.3**	- 15 3	94	95	94	94	81	98
11	- 15.9	- 11.4	- 12.4	- 13 2	- 5.6	- 17.9	- 11.2	80	82	83	82	77	95
12	- 12.7	- 5.7	- 10 2	- 9.5	- 2.0	- 12.8	- 5.4	82	90	83	85	74	93
13	- 10.3	- 5.7	- 8.7	- 8.2	- 0.8	- 10.4	- 5.3	87	78	90	85	72	92
14	- 8.2	- 4.2	- 5.7	- 6 0	+ 1.3	- 8.4	- 4.2	86	86	94	89	70	96
15	- 6.7	+ 1.9	- 5 3	- 4.6	+ 2.6	- 7.0	- 1.6	59	47	56	**54**	32	80
16	- 4.2	- 0.1	- 4.1	- 2.8	+ 4 3	- 4.7	0 0	47	53	64	55	**27**	72
17	- 3.3	- 0.1	- 3.2	- **2.2**	+ **4.8**	- 5.2	+ **1.4**	54	56	60	57	31	84
18	- 5.6	- 3.8	- 4.7	- 4.7	+ 2.3	- 6.7	- 3.6	94	85	94	91	70	97
19	- 5.3	+ 0.4	- 6.7	- 3.9	+ 3.0	- 8.8	+ 0.6	93	78	95	89	65	96
20	- 12.2	- 8.2	- 14.0	- 11.5	- 4.7	- 14.0	- 8.0	94	90	87	90	41	95
21	- 10.5	- 8.0	- 9.4	- 9.3	- 2.6	- 11.6	- 6.0	82	78	91	84	57	94
22	- 10.2	- 8.2	- 8.2	- 8.9	- 2.3	- 11.0	- 7.8	44	67	92	68	30	95
23	- 3.0	- 1.4	- 4.2	- 2.9	+ 3.6	- 7.6	- 1.0	88	81	95	88	64	97
24	- 5.6	- 2.0	- 3.7	- 3.8	+ 2.6	- 5.7	- 1.2	94	82	94	90	78	96
25	- 4.9	- 1.3	- 4.3	- 3.5	+ 2.8	- 5.0	- 1.0	82	74	95	84	65	98
26	- 5.7	- 2.1	- 5.1	- 4.3	+ 1.9	- 5.7	- 1.8	92	57	94	81	48	96
27	- 5.7	- 3.0	- 5.0	- 4.6	+ 1.4	- 6.0	- 2.8	94	91	94	93	80	96
28	- 5.2	- 2.5	- 4.2	- 3.9	+ 2.0	- 6.4	- 2.1	94	87	97	93	78	98
29	- 4.2	+ 0.2	- 6.3	- 3.4	+ 2.4	- 7.4	+ 0.4	95	68	74	79	60	98
30	- 8.2	- 3 2	- 6.2	- 5.9	- 0.2	- 8.3	- 2.0	60	70	68	66	48	90
31	- 8.6	- 4.8	- 8.8	- 7 4	- 1.8	- 9.2	- 3.0	83	56	88	76	44	92
Mois	- 8.39	- 4.89	- 7.90	- 7.06	- 0.26	- 9.72	- 4.06	85	80	89	85		

MOYENNES DU GRAND SAINT-BERNARD — MARS 1915

Correction pour réduire la pression atmosphérique du Grand Saint-Bernard à la pesanteur normale : — $0^{mm}.22$. — Cette correction n'est pas appliquée dans les tableaux.

Pression atmosphérique : 500^{mm} + **Fraction de saturation en %**

	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
	mm	mm	mm	mm				
1re décade	59.21	59.57	59.50	59.43	94	93	96	94
2e »	59.60	59.83	60.49	59.97	78	74	81	78
3e »	58.86	59.15	59.45	59.15	83	74	89	82
Mois	59.21	59.50	59.80	59.50	85	80	89	85

Température.

	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne. $\frac{7+1+9}{3}$	Moyenne. $\frac{7+1+2\times 9}{4}$
	°	°	°	°	°
1re décade	— 10.39	— 7.46	— 10.44	— 9.43	— 9.68
2e »	— 8.44	— 4.07	— 7.50	— 6.67	— 6.88
3e »	— 6.53	— 3.30	— 5.95	— 5.26	— 5.43
Mois	— 8.39	— 4.89	— 7.90	— 7.06	— 7.27

Dans ce mois l'air a été calme 151 fois sur 1000.

Le rapport des vents $\frac{NE}{SW} = \frac{114}{39} = 2.92$

Pluie et neige dans le V[illegible] d'Entremont.

Station	Martigny-Ville	Orsières	Bourg-St-Pierre	St-Bernard
Eau en millimètres.....	49.5	38.2	26.5	95.4
Neige en centimètres....	5	14	22	120

Ob
an

Fig.

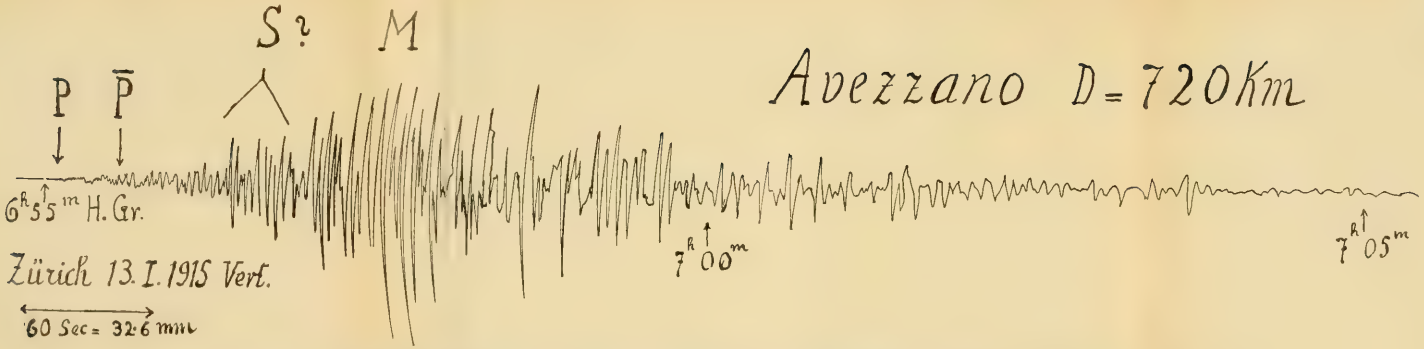


Fig. 1. — Sismogramme du tremblement de terre du 13 janvier 1913 d'Avezzano (Italie moyenne). Enregistré à l'Observatoire sismologique suisse à Zurich, par le sismographe Spindler et Hoyer-Wiechert verticale; agrandissement 100. Période du maximum : 6 sec.; amplitude maximum : 0,65 mm. Distance : 720 km.

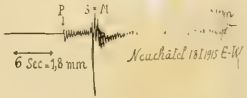


Fig. 2. — Sismogramme du tremblement de terre du 13 janvier 1915, ressenti en Suisse (épicentre région de Soleure). Enregistré à l'Observatoire de Neuchâtel par la composante E-W du sismographe Bosch-Mainka. Agrandissement original : environ 50; agrandissement de la reproduction : environ 250. Période du maximum : 0,45 sec. Amplitude totale maximum : 0,08 mm. Distance : 40 km.

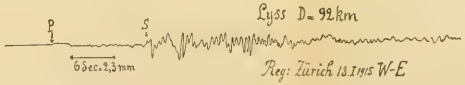
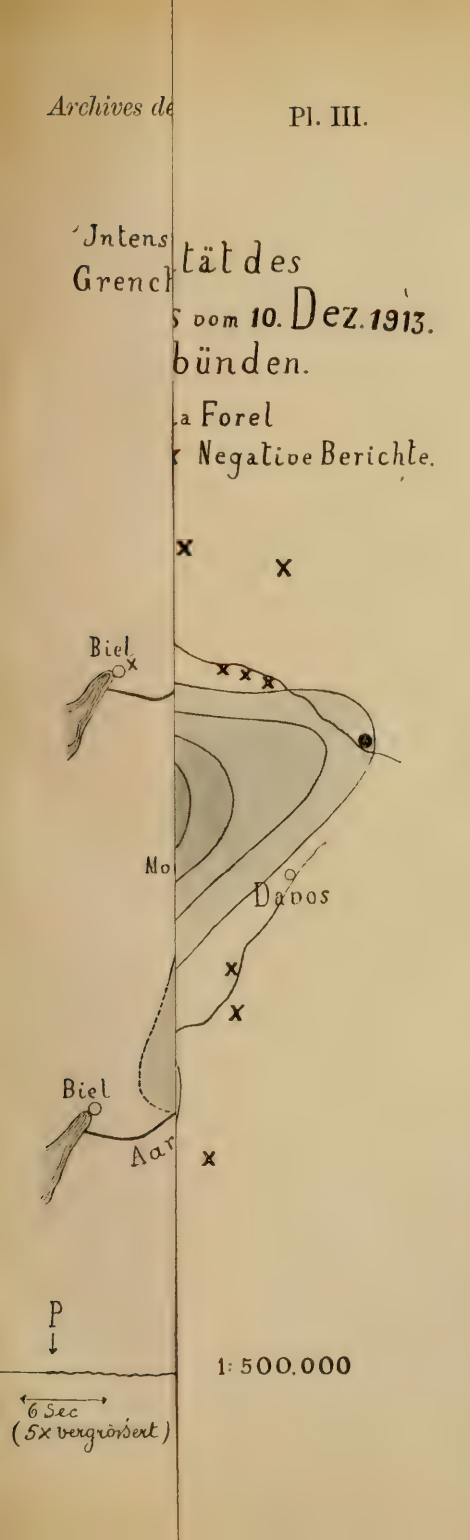
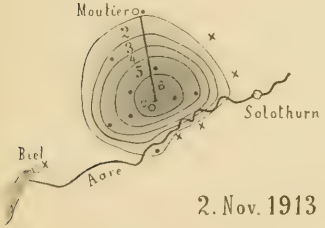
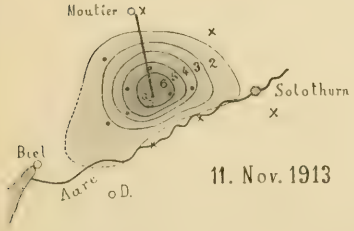


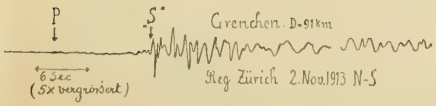
Fig. 3. — Même tremblement de terre que Fig. 2, Enregistré à l'Observatoire sismologique de Zurich par la composante E-W du sismographe Bosch-Mainka. Agrandissement original 160; agrandissement de la reproduction, environ 800. Période du maximum : 0,6 sec. Amplitude totale maximum : 0,009 mm. Distance : 92 km.


Jntens
Grenc
tät des
s vom 10. Dez. 1913.
bünden.
a Forel
Negative Berichte.
Biel
Mo
Davos
Biel
Aar
P
1: 500.000
6 Sec
(5x vergrössert)

Intensität der Tunnelbeben von
Grenchen, 2. und 11. November 1913
Skala Forel
x Negative Berichte







Intensität des
Erdbebens vom 10. Dez. 1913.
Graubünden.
Skala Forel
x Negative Berichte.

LA GÉOMÉTRIE

DES

FEUILLETS «COTÉS»

PAR

René DE SAUSSURE

(Suite [1]*)*

V. — La tricouronne.

La monocouronne et la bicouronne ayant été engendrées respectivement par le monofaisceau et par le bifaisceau, il y a lieu de se demander si la tricouronne peut être engendrée d'une manière semblable au moyen d'un trifaisceau. Si l'on construit tous les feuillets cotés $F(f)$ symétriques d'un feuillet fixe F_0 par rapport aux différentes génératrices d'un trifaisceau, on obtient bien une tricouronne, mais non pas une tricouronne sous la forme la plus générale. En effet, d'après ce mode de génération, le feuillet F_0 serait contraire de tous les feuillets $F(f)$ de la tricouronne : or, nous savons que *4 feuillets cotés sont nécessaires pour déterminer une tricouronne* et qu'il n'existe pas en général de feuillet F_0 contraire de 4 feuillets donnés (puisqu'il n'existe qu'un feuillet contraire de 3 feuillets donnés). On ne peut donc pas construire la tricouronne la plus générale par symétrie au moyen d'un trifaisceau, ou si l'on veut, il n'existe pas en général de feuillet contraire à une tricouronne.

[1]) Voir *Archives*, 1915, t. XXXIX, p. 5 et 109.

Il était à prévoir du reste, que les polycouronnes d'ordre supérieur (penta et hexacouronnes) ne peuvent pas être déduites de polyfaisceaux correspondants, puisqu'il n'existe pas de polyfaisceau d'ordre supérieur au quatrième (tétrafaisceau).

La tricouronne se distingue des autres polycouronnes par le fait que : *le système complémentaire d'une tricouronne est lui même une tricouronne* (Voir § IV). La tricouronne occupe donc parmi les polycouronnes la même place que le bifaisceau parmi les polyfaisceaux, puisque nous avons vu que « le système complémentaire d'un bifaisceau est lui même un bifaisceau ».

Les propriétés de la tricouronne pourront donc être détruites par analogie de celles du bifaisceau. Ainsi par exemple, « 3 droites cotées déterminent un bifaisceau, et les droites complémentaires de ces 3 droites cotées forment aussi un bifaisceau (bifaisceau complémentaire) » ; de même : *4 feuillets cotés déterminent une tricouronne et les feuillets complémentaires de ces 4 feuillets cotés forment aussi une tricouronne* (tricouronne complémentaire).

Digression sur les feuillets contraires. — Deux feuillets contraires sont deux feuillets symétriques l'un de l'autre par rapport à une droite.

L'ensemble des feuillets F contraires d'un feuillet donné F_0 forme une tétrasérie, puisque le nombre des droites de l'espace est ∞^4.

L'ensemble des feuillets F contraires de deux feuillets donnés F_0 et F'_0 forme une bisérie (intersection de 2 tétraséries). Cette bisérie peut être construite de la façon suivante : on détermine l'axe I du mouvement hélicoïdal qui permet de passer de la position F_0 à la position F'_0, et l'on construit tous les feuillets F symétriques de F_0 par rapport aux différentes droites qui rencontre l'axe I à angle droit, car, d'après ce que nous avons vu plus haut (p. 14), les feuillets F ainsi construits sont aussi symétriques de F'_0 par rapport à des droites rencontrant I à angle droit. Si M,D,P, sont les trois éléments du feuillet F, le lieu du point M, c'est-à-dire la surface de base de la bisérie, est un cylindre de révolution décrit autour de l'axe I. Si maintenant on construit une monocouronne quelconque passant par

les feuillets F_0 et F'_0 (en attribuant à ces feuillets des cotes quelconque f_0 et f'_0) l'ellipse de base de cette monocouronne sera située sur ce cylindre de révolution, et tous les feuillets de cette monocouronne seront évidemment contraires de tous les feuillets F. Ainsi, *lorsqu'un feuillet F est contraire de 2 feuillets donnés F_0 et F'_0 il est contraire de toute monocouronne déterminée par ces deux feuillets et par des cotes quelconques* f_0 *et* f'_0.

Enfin, les feuillets F contraires de 3 feuillets donnés F_0, F'_0, F''_0. sont en nombre fini (intersection de 3 tétraséries, c'est-à-dire de 6 pentaséries), et nous avons vu que ce nombre est égal à un.

Constitution géométrique de la tricouronne. — Nous savons déjà que si l'on prend deux feuillets quelconques dans une tricouronne S, la monocouronne qui les joint fait elle-même partie du système S ; de même, si l'on prend trois feuillets quelconques dans une tricouronne S, la bicouronne qui les joint fait aussi partie du système S.

D'autre part, il y a autant de feuillets dans une tricouronne S que de points dans l'espace. On peut donc comparer la géométrie des feuillets dans une tricouronne à la géométrie ponctuelle dans l'espace : il suffit pour cela de remplacer les mots *point, droite, plan,* par les mots *feuillet, monocouronne, bicouronne,* ce qui permet d'énoncer les théorèmes suivants :

Théorème XVIII. — *Toute tricouronne contient une quadruple infinité* (∞^4) *de monocouronnes.*

Théorème XIX. — *Par chaque feuillet d'une tricouronne passe une double infinité* (∞^2) *de monocouronnes* (dont les axes forment un bifaisceau).

Théorème XX. — *Deux monocouronnes situées dans une même tricouronne, n'ont pas de feuillet commun,* à moins qu'elles ne soient situées dans une même bicouronne.

Théorème XXI. — *Toute tricouronne contient une triple infinité* (∞^3) *de bicouronnes.*

Théorème XXII. — *Par chaque feuillet d'une tricouronne passe une double infinité* (∞^2) *de bicouronnes.*

Théorème XXIII. — *Par chaque monocouronne, située dans une tricouronne, passe une simple infinité* (∞^1) *de bicouronnes.*

Théorème XXIV. — *Deux bicouronnes situées dans la même tricouronne se coupent suivant une monocouronne.*

Théorème XXV. — *Trois bicouronnes situées dans la même tricouronne ont toujours un feuillet commun en un seul.*

Tricouronnes complémentaires. — Deux tricouronnes complémentaires jouent le même rôle en géométrie feuilletée que deux bifaisceaux complémentaires en géométrie réglée. Pour s'en rendre compte, il suffit de remplacer les droites qui se rencontrent à angle droit par des feuillets contraires.

Ainsi, par exemple, nous savons que « si l'on considère deux génératrices quelconques d'un bifaisceau, leur perpendiculaire commune fait partie du bifaisceau complémentaire ». On peut donc par analogie énoncer le théorème suivant :

Théorème XXVI. — *Si dans une tricouronne S on considère 3 feuillets quelconques, le feuillet contraire de ces trois feuillets fera partie de la tricouronne complémentaire* Σ.

On voit donc que *le feuillet contraire de 3 feuillets* joue en géométrie feuilletée exactement le même rôle que la « perpendiculaire commune à 2 droites » en géométrie réglée. Il faut seulement avoir soin de ne pas confondre les feuillets *contraires* (feuillets non cotés, et symétriques l'un de l'autre par rapport à une droite) avec les feuillets *complémentaires* (feuillets cotés définis par la relation $f_1 + f_2 = h \operatorname{tang} \frac{\omega}{2}$). Deux feuillets contraires sont nécessairement complémentaires (quelles que soient leurs cotes), puisque la relation précédente est toujours satisfaite lorsque $h = o$ et $\omega = \pi$, mais la réciproque n'est pas vraie.

Nous savons que tout bifaisceau contient une double infinité (∞^2) de droites et aussi une double infinité de mono-

faisceaux. Or Ball a montré que si l'on considère deux bifaisceaux complémentaires, les génératrices de l'un sont les axes des monofaisceaux contenus dans l'autre. D'autre part, nous savons que toute tricouronne contient une ∞^3 de feuillets et une ∞^3 de bicouronnes, et comme à chaque bicouronne correspond un feuillet contraire et un seul (p. 26), nous pouvons, par analogie avec le bifaisceau, énoncer le théorème suivant :

Théorème XXVII. — *Si deux tricouronnes S et Σ sont complémentaires, toute bicouronne du système Σ a pour feuillet contraire un feuillet situé dans le système S, et réciproquement.*

Ainsi il y a entre les feuillets de S et les bicouronnes de Σ, comme aussi entre les feuillets de Σ et les bicouronnes de S, une correspondance par dualité analogue à celle qui existe entre un pôle et son plan polaire dans la géométrie ponctuelle à trois dimensions. On a ainsi les théorèmes suivants :

Théorème XXVIII. — Soient F un feuillet de la tricouronne S, et Φ un feuillet de la tricouronne complémentaire Σ : *si la bicouronne (du système Σ), qui est contraire du feuillet F, contient le feuillet Φ, réciproquement, la bicouronne (du système S) qui est contraire du feuillet Φ, contiendra le feuillet F.*

Corollaire. — *Lorsqu'un feuillet F décrit une bicouronne dans le système S, la bicouronne contraire du feuillet F tourne (dans le système Σ) autour d'un feuillet fixe Φ.* Ce feuillet Φ est du reste le feuillet contraire de la bicouronne décrite par le feuillet F dans le système S.

Ce théorème correspond en géométrie ponctuelle à la proposition suivante : « Lorsqu'un point décrit un plan, le plan polaire de ce point tourne autour d'un point fixe », proposition d'où l'on tire aussi la suivante : « Lorsqu'un point décrit une droite, le plan polaire de ce point tourne autour d'une droite fixe et ces deux droites sont dites polaires l'une de l'autre ». Nous avons donc par analogie le théorème :

Théorème XXIX. — Lorsque deux tricouronnes S et Σ sont complémentaires, *si un feuillet F décrit une monocouronne dans*

le système S, la bicouronne contraire du feuillet F tourne (dans le système Σ) autour d'une monocouronne fixe.

On voit donc qu'*à chaque monocouronne du système S correspond dans le système Σ une monocouronne contraire.* De plus, les axes de deux monocouronnes contraires coïncident et leurs ellipses de bases sont portées par le même cylindre de révolution, car nous avons vu que tous les feuillets contraires d'une monocouronne sont portés par le même cylindre que cette monocouronne.

Considérons maintenant 4 feuillets cotés $F_1(f_1)$, $F_2(f_2)$, $F_3(f_3)$, $F_4(f_4)$, situés d'une manière quelconque dans l'espace. Ces 4 feuillets déterminent une tricouronne S. En joignant ces feuillets deux à deux par des monocouronnes, nous obtenons 6 monocouronnes, dont tous les feuillets font partie du système S. Si l'on désigne, comme d'habitude, par M, D et P les trois éléments qui constituent un feuillet F, les lignes de base de ces 6 monocouronnes forment un tétraèdre, dont les arêtes curvilignes M_1M_2, M_1M_3, M_1M_4, M_2M_3, M_2M_4, M_3M_4, sont des arcs d'ellipses. De même, en joignant ces 4 feuillets trois à trois par des bicouronnes, nous obtenons 4 bicouronnes, dont les feuillets appartiennent aussi au système S. Les surfaces de base de ces 4 bicouronnes forment les faces $M_1M_2M_3$, $M_2M_3M_4$, $M_3M_4M_1$, $M_4M_1M_2$ du tétraèdre curviligne $M_1M_2M_3M_4$, dont nous venons de parler, car il est évident que la surface de base $M_1M_2M_3$, par exemple, contient les ellipses de base M_1M_2, M_1M_3, M_2M_3.

Désignons par Σ la tricouronne complémentaire de la tricouronne S. Nous savons qu'à chaque bicouronne du système S, correspond dans le système Σ un feuillet contraire Φ. Donc, à la figure tétraédrique formée par les 4 feuillets F_1, F_2, F_3, F_4, dans le système S, correspond dans le système Σ une autre figure tétraédrique formée par 4 feuillets Φ_1, Φ_2, Φ_3, Φ_4, de telle façon que les sommets d'un des tétraèdres correspondent aux faces de l'autre et réciproquement, c'est-à-dire, que le feuillet Φ_1, par exemple, est le feuillet contraire de la bicouronne $(F_2F_3F_4)$ et que le feuillet F_1 est le feuillet contraire de la bicouronne $(\Phi_2\Phi_3\Phi_4)$. Il en résulte aussi une correspondance entre les arêtes des deux tétraèdres, c'est-à-dire que la monocouronne (F_1F_2) par exemple sera contraire de la monocou-

ronne ($\Phi_3\Phi_4$). Ces deux monocouronnes ont donc le même axe et leurs ellipses de base sont portées par le même cylindre de révolution.

En résumé, l'on peut dire que les deux figures tétraédriques $F_1F_2F_3F_4$ et $\Phi_1\Phi_2\Phi_3\Phi_4$ sont *contraires* l'une de l'autre.

Feuillets de cote nulle. — Dans une tricouronne, les feuillets F, qui ont une cote nulle (ou plus généralement une cote donnée f) forment évidemment une bisérie. D'autre part, nous avons vu que dans toute polycouronne les feuillets de même cote forment une série *linéaire;* donc, *dans toute tricouronne les feuillets F qui ont une cote donnée* f *forment une bisérie linéaire.* On peut donc considérer une tricouronne S comme une *famille de biséries linéaires,* chaque bisérie correspondant à une cote définie f.

Cette conception établit une nouvelle analogie entre une tricouronne de feuillets cotés F(f) et un bifaisceau de droites cotées G(g) : nous avons vu, en effet, qu'un bifaisceau est composé d'une famille d'*hyperboloïdes* (monosérie linéaire de droites) et qu'à chaque hyperboloïde correspond une cote déterminée g. En outre, chacun de ces hyperboloïdes possède deux systèmes de génératrices rectilignes ; un seul de ces systèmes (celui qui est affecté de la cote g) appartient au bifaisceau, tandis que l'autre système (affecté d'une cote $-g$) appartient au bifaisceau complémentaire. De même, dans une tricouronne S, les feuillets qui ont une cote donnée f forment une bisérie linéaire L : or, nous avons vu dans la Géométrie des Feuillets (non cotés) qu'*à toute bisérie linéaire correspond une bisérie linéaire réciproque;* on prévoit donc que les feuillets de la bisérie Λ, réciproque de L, feront partie de la tricouronne Σ, complémentaire de la tricouronne S. En effet, deux feuillets *réciproques* sont deux feuillets dont les positions sont telles que l'on peut passer de l'une à l'autre par une simple rotation ω (la translation h étant nulle) ; pour que deux feuillets réciproques soient complémentaires, il suffit donc que leurs cotes soient égales et de signe contraire, car la relation $f_1+f_2=h \operatorname{tang}\frac{\omega}{2}$ se réduit à $f_1+f_2=0$ lorsque la translation h est nulle ; ainsi, deux bi-

séries linéaires réciproques l'une de l'autre sont aussi complémentaires l'une de l'autre, si tous les feuillets de l'une ont une même cote, égale et de signe contraire à celle des feuillets de l'autre; si donc la bisérie de cote $+f$ appartient à la tricouronne S, la bisérie réciproque (et de cote $-f$) appartiendra à la tricouronne complémentaire Σ.

Les résultats ci-dessus peuvent être résumés dans le théorème suivant :

Théorème XXX. — Etant données deux tricouronnes complémentaires S et Σ, chacune de ces tricouronnes renferme une famille de biséries linéaires et tous les feuillets d'une même bisérie ont une même cote ; *la bisérie linéaire qui correspond à la cote* $+$ f *dans une des tricouronnes est réciproque de la bisérie linéaire qui correspond à la cote* $-$ f *dans l'autre tricouronne.*

Je termine ici l'étude de la tricouronne, les résultats obtenus jusqu'ici ne me permettant pas encore d'en faire une étude plus approfondie. Beaucoup de questions restent encore à résoudre ; ainsi par exemple, nous savons qu'une tricouronne possède en chaque point de l'espace un nombre *fini* de feuillets, mais ce nombre est-il égal à *un,* ou est-il plus grand que un ? Une question de cette nature serait vite résolue par l'analyse, si nous connaissions l'équation d'une polycouronne ; mais il faudrait pour cela définir la position d'un feuillet coté au moyen de coordonnées appropriées ; c'est pourquoi il est à souhaiter qu'un mathématicien compétent reprenne l'étude des polycouronnes par la méthode analytique.

Il serait intéressant aussi d'étudier les formes particulières que peut prendre une tricouronne, ainsi, par exemple, le système que j'ai nommé *hypercouronoïde* dans ma « Géométrie des Feuillets » doit être un cas particulier de la tricouronne [1].

Application a l'étude des fluides en mouvement. — Soit M une molécule d'un fluide en mouvement dans l'espace, D la tangente à la trajectoire de la molécule, P le plan oscu-

[1]) De même que le couronoïde est un cas particulier de la bicouronne, et la couronne un cas particulier de la monocouronne.

lateur de cette trajectoire et v la vitesse de la molécule ; les trois éléments M, D, P, forment un feuillet que l'on peut désigner par la lettre V ; la vitesse v de la molécule peut alors être considérée comme un coefficient numérique associé au feuillet V. L'état de mouvement de la molécule M est donc complétement défini par le feuillet coté $V(v)$.

Lorsqu'un fluide, d'ailleurs quelconque, est en mouvement dans l'espace, ce fluide possède en chaque point de son volume une molécule M, dont l'état de mouvement peut être défini par un feuillet coté $V(v)$. L'ensemble des feuillets $V(v)$ forme donc une trisérie de feuillets cotés. Or, le type d'une pareille trisérie étant la *tricouronne*, il est à prévoir que ; *la tricouronne peut servir à représenter l'état de mouvement le plus général d'un fluide dans l'espace,* tout comme le couronoïde représente l'état de mouvement le plus général d'un fluide dans le plan.

En effet, nous savons que par 4 feuillets $V_1(v_1)$, $V_2(v_2)$, $V_3(v_3)$, $V_4(v_4)$, situés d'une manière quelconque dans l'espace, on peut faire passer une tricouronne, et on n'en peut faire passer qu'une seule. Si donc on connaît l'état de mouvement d'un certain nombre de molécules M_1, M_2, M_3, M_4, M_5,.... M_n, du fluide, on pourra diviser le volume total du fluide en un certain nombre de tétraèdres curvilignes : $M_1M_2M_3M_4$, $M_1M_2M_3M_5$,..., en prenant comme arêtes de ces tétraèdres les ellipses de base des monocouronnes joignant leurs sommets deux à deux, et comme faces de ces tétraèdres les surfaces de base des bicouronnes joignant leurs sommets trois à trois ; ainsi les arêtes du tétraèdre $M_1M_2M_3M_4$ seront les arcs d'ellipses qui servent de base aux 6 monocouronnes $[V_1(v_1), V_2(v_2)]$, $[V_1(v_1), V_3(v_3)]$, $[V_1(v_1), V_4(v_4)]$, $[V_2(v_2), V_3(v_3)]$, $[V_2(v_2), V_4(v_4)]$, $[V_3(v_3)\, V_4(v_4)]$, et les faces de ce tétraèdre seront les surfaces de base des 4 bicouronnes $[V_2(v_2), V_3(v_3), V_4(v_4)]$, $[V_3(v_3), V_4(v_4), V_1(v_1)]$, $[V_4(v_4), V_1(v_1), V_2(v_2)]$, $[V_1(v_1), V_2(v_2), V_3(v_3)]$, ces surfaces de base étant d'ailleurs limitées aux ellipses de base qui forment les arêtes du tétraèdre $M_1M_2M_3M_4$. Le mouvement du fluide à l'intérieur de ce tétraèdre sera alors représenté (aproximativement) par la portion de la tricouronne $[V_1(v_1), V_2(v_2), V_3(v_3), V_4(v_4)]$ qui se trouve à l'intérieur du tétraèdre $M_1M_2M_3M_4$, c'est-à-dire que si M est une molécule quelconque du fluide, à l'intérieur de ce

tétraèdre, l'état de mouvement de la molécule M sera défini par le feuillet $V(v)$ de la tricouronne, qui ce trouve en ce point. En opérant de même sur les autres tétraèdres $M_1M_2M_3M_5$, $M_1M_2M_4M_6$,...., le volume total du fluide en mouvement se trouvera subdivisé en un certain nombre de tétraèdres à arêtes curvilignes, de telle façon que l'état du fluide à l'intérieur de chaque tétraèdre se trouvera complétement défini par les feuillets d'une portion de tricouronne (puisque chaque groupe de 4 feuillets détermine une tricouronne).

On pourrait croire, que cette décomposition du volume du fluide en tétraèdres produit une dislocation dans la continuité du phénomène lorsqu'on passe d'un tétraèdre au tétraèdre adjacent. Or, il n'en est rien, car les sommets M_2, M_3, M_4, par exemple (et par conséquent aussi les feuillets qui s'y trouvent), sont communs aux deux tétraèdres adjacents $M_1M_2M_3M_4$ et $M_2M_3M_4M_5$; or, comme il n'existe qu'une bicouronne passant par 3 feuillets donnés, on voit que la bicouronne $(M_2M_3M_4)$ est commune aux deux tricouronnes $(M_1M_2M_3M_4)$ et $(M_2M_3M_4M_5)$, c'est-à-dire que les deux tétraèdres adjacents se touchent exactement non seulement par les 3 sommets M_2, M_3, M_4, mais *par toute la face $M_2M_3M_4$, ainsi que par les arêtes M_2M_3, M_3M_4, M_4M_2 qui limitent cette face;* en outre en un point quelconque M de cette face commune, le feuillet $V(v)$ est le même pour les deux tétraèdres, c'est-à-dire que *l'état de mouvement d'une molécule du fluide, située à la limite de deux tétraèdres adjacents, est le même pour les deux tétraèdres.*

En d'autres mots, si dans chaque tétraèdre on détermine les *filets* de mouvement du fluide, c'est-à-dire les *lignes de flux* du fluide, on constatera que les lignes de flux à l'intérieur d'un tétraèdre viennent se raccorder exactement avec les lignes de flux de tous les tétraèdres adjacents, de telle façon qu'en traversant la surface de séparation de deux tétraèdres la ligne de flux conserve au point de passage M la même tangente D et le même plan osculateur P.

Ainsi, se trouve résolu le problème géométrique de la détermination du mouvement complet d'un fluide, lorsqu'on connaît le mouvement d'un certain nombre de ses molécules. Comme cette solution géométrique est basée essentiellement sur les

propriétés de la tricouronne, il y aurait lieu de compléter l'étude de la tricouronne et de déterminer la forme de ses lignes de flux, comme nous avons déterminé les lignes de flux du couronoïde pour étudier les mouvements d'un fluide dans un plan. Comme le couronoïde possède un pôle, où viennent converger toutes les lignes de flux, il est très possible que la tricouronne possède aussi un pôle, et même une ligne polaire analogue; cette ligne polaire, probablement fermée, correspondrait à la partie du fluide qui présente un état tourbillonnaire, comme celui des anneaux de fumée, que tout le monde connaît. Mais cette question ne pourra être élucidée qu'après détermination, géométrique ou analytique, des lignes de flux de la tricouronne.

(A suivre).

DÉTERMINATION EXPÉRIMENTALE

DES

ÉLÉMENTS CRITIQUES

de l'Oxygène, de l'Azote de l'Oxyde de Carbone et du Méthane

PAR

Ettore CARDOSO

I. Nous avons déjà fait connaître les résultats expérimentaux de nos recherches sur l'état critique d'une dizaine de gaz dont les températures critiques étaient comprises entre + 9° et + 157° (1). Le but de ces mesures est de réunir le plus grand nombre de données précises indispensables à l'étude approfondie de l'équation d'état des fluides réels. En étendant le champ de nos investigations dans cet ordre d'idées, nous avons été, tout naturellement, amenés à étudier les gaz communement appelés « permanents ».

Ces gaz, qui ont été peu ou pas du tout étudiés (en raison peut-être des difficultés expérimentales que leur étude présente) sont entr'autres particulièrement intéressants, car leurs températures réduites, décroissent très rapidement à une distance très faible du point critique.

II. La difficulté la plus importante que l'on rencontre dans l'étude des constantes critiques des gaz permanents, que nous avons étudiés, réside dans la réalisation d'un cryostat simple et précis permettant d'atteindre et maintenir constantes à 0.°10

(1) Ces recherches ont été effectuées avec la collaboration de MM. Arni, Bell, Baume, Germann et de Mlle Giltay. Cf. *J. Chim. Phys.*, 1912, X, 470; *ibid.*, p. 504; *ibid.*, p. 497; *ibid.*, p. 509; *ibid.*, p. 517; *ibid.*, p. 514.

(ou ce qui vaut mieux à 0,°05) des températures comprises entre — 80° et — 160°. Nous avons trouvé une solution de cette difficulté sans avoir recours à l'ébullition sous pression réduite de gaz convenablement choisis, car cette méthode, par ailleurs extrêmement précise, est très dispendieuse et nécessite tout un personnel et des installations très compliquées (1). Nous avons déjà donné une description (2) sommaire du cryostat très simple que nous avons construit et qui a rempli parfaitement les conditions pour lesquelles il a été établi. Cet appareil a subi plusieurs améliorations, dont nous rendrons compte en temps voulu.

III. La mesure des températures était effectuée au moyen d'un thermomètre en verre dur français, gradué par Baudin et rempli, par nous, avec de l'isopentane très pur que nous devons à l'obligeance de notre excellent collègue et ami le Prof. J. Timmermans de Bruxelles. L'étude de cet appareil nous a montré qu'il était fidèle et précis quand on avait soin de prendre certaines précautions dans son emploi. Sans nous arrêter trop longtemps sur la question des thermomètres que nous aurons à approfondir plus tard, nous dirons seulement que nous avons été amenés à la construction de ce thermomètre à isopentane pur parce que nous avions constaté que les thermomètres de Baudin (qui sont cependant les meilleurs thermomètres à liquides pour d'autres usages) ne donnaient pas d'indications sûres dans nos conditions expérimentales.

IV. Tous les dispositifs de compression et de mesure des pressions étaient, à quelques détails près, les mêmes que ceux utilisés dans nos recherches antérieures sur les gaz liquéfiables (3). Signalons que le tube laboratoire, au lieu d'être droit, était courbé deux fois à angle droit de façon à ce que son extrémité plongeât dans le cryostat.

1) On a réalisé ces installations seulement dans deux ou trois laboratoires dans le monde entier. Le laboratoire qui possède la meilleure et la plus complète de ces installations, qui lui permet d'atteindre les températures les plus basses que l'on ait jamais réalisées, est celui, à juste titre célèbre, créé par Kammerlingh-Onnes à l'Université de Leyde.

2) *Archives*, 1913, XXXVI, 97.

3) *J. Chim. Phys.*, loc. cit.

V. La pureté de nos échantillons gazeux a été contrôlée par compression isotherme à différentes températures en faisant varier dans de grandes limites les volumes respectifs des deux phases. Nous avons conclu à la pureté de l'échantillon quand, entre le commencement et la fin de la liquéfaction, l'écart de pression ne dépassait pas 0,05 atmosphères [1].

VI. Nous avons déterminé par cette méthode les températures et pressions critiques des quatre gaz suivants. Les résultats consignés ci-dessous, arrondis à 0,05 atmosphères près, sont la moyenne de mesures très concordantes :

GAZ	Pression critique (atmosphères)	Température critique (centigrade)
N_2	33.65	— 144.7
CO	34.60	— 138.7
O_2	49.30	— 118.0
CH_4	45.60	— 82.85

Dans un mémoire d'ensemble nous donnerons tous les détails expérimentaux et nous décrirons nos essais infructueux pour provoquer l'opalescence critique chez tous ces gaz.

Institut de Physique de l'Université de Genève.

[1]) Cet écart s'est montré notablement inférieur dans nos expériences ; quelquefois il n'atteignait pas $^1/_{100}$ d'atmosphère.

DENSITÉS

DES

PHASES COEXISTANTES DU MÉTHANE

ET DE L'OXYDE DE CARBONE

PAR

Ettore CARDOSO

1° Dans la note précédente nous avons donné quelques indications sommaires sur une méthode expérimentale qui nous a permis de déterminer les constantes critiques de quelques gaz permanents. En employant les mêmes appareils, avec quelques légères variantes, il nous a été possible (en nous servant d'un tube laboratoire dont l'extrémité capillaire était soigneusement graduée et calibrée) de procéder à des mesures beaucoup plus délicates et nous avons déterminé les densités des phases coexistantes du méthane et de l'oxyde de carbone et partant leurs densités critiques.

2° La pureté des gaz que nous avons étudié avait été contrôlée au préalable par la méthode indiquée dans la note précédente et qui est d'ailleurs celle que nous avons toujours suivie.

La masse du gaz sur laquelle on opérait était calculée à partir des données de température et de pression relatives au remplissage du tube laboratoire. Nous avons tenu compte de l'écart à la loi de Gay-Lussac et nous avons négligé l'écart à la loi de Boyle car l'erreur ainsi commise était très faible dans nos conditions.

3° Les mesures des volumes respectifs du liquide et de la vapeur nécessaire à la détermination des densités des deux

phases étaient effectuées en faisant plonger la partie capillaire graduée du tube laboratoire assez bas dans le cryostat pour que le mercure fût immergé et gelé sur une longueur de 5 cm environ. Cette manière de faire permettait d'enfermer tous les gaz du tube laboratoire dans telle portion de la partie capillaire que l'on désirait; en d'autres termes on pouvait réaliser de la sorte des tubes de Natterer dont les remplissages pouvait être variés à volonté.

4° Nous avons agité, avec les précautions voulues, la phase liquide à l'aide d'un agitateur de Kuenen, parce que nos recherches antérieures [1] nous avaient montré que cette précaution est indispensable pour atteindre d'une façon certaine et relativement rapide l'équilibre thermodynamique des deux phases.

5° Les mesures des densités poussées jusqu'à un degré environ du point critique nous ont fourni des courbes très régulières et des *diamètres rectilignes* pour les deux gaz. Les mesures effectuées sur deux échantillons de méthane ont conduit exactement à la même valeur de la densité critique à savoir: $d_c = \mathbf{0.1623}$ [2].

Pour l'oxyde de carbone nous avons obtenu $d_c = \mathbf{0.3110}$.

Nous ferons connnaître en son temps les détails expérimentaux concernant ces mesures et à cette occasion nous publierons un certain nombre de considérations théoriques que ces recherches nous ont inspiré.

Institut de Physique de l'Université de Genève.

[1]) *Archives,* 1912.

[2]) La première série de mesures a été effectuée vers juin 1913 et a fait l'objet d'une note dans les *Archives* (août 1913), la seconde a été effectuée un an après; la concordance inespérée des deux séries est à coup sûr fortuite, car notre méthode ne semble pas donner une précision supérieure à $^1/_{600}{}^{me}$ pour les densités critiques.

SUR L'IDENTITÉ

DES

FERMENTS OXYDANTS

Réponse à M. Bach

PAR

Mlle G. WOKER

M. Bach a publié, tome XXXIX des *Archives*, janvier 1915, une série d'expériences qui paraissent contredire mon hypothèse que la catalase, la peroxydase et la réductase sont basées sur un même principe de nature aldéhydique. Tout d'abord M. Bach part du fait que les préparations qu'il a employées ne réduisent pas l'oxyde d'argent ammoniacal à froid et ne colorent pas le réactif fuchsine-bisulfite, et il en déduit que les catalases et peroxydases qui se trouvent dans les sucs naturels ne sont pas de nature aldéhydique (1). Il s'agit ici de colloïdes et nous n'avons aucune expérience sur les propriétés des aldéhydes colloïdales. Il est bien possible que ces corps si instables ne donnent pas certaines réactions des aldéhydes ordinaires. Il s'agit surtout de la réduction de l'oxyde d'argent, dont on connaît l'effet intense sur les colloïdes. L'hypothèse de la nature aldéhydique de ces ferments est appuyée au contraire par les expériences de M. Senter (2), qui a démontré que les

1) G. Woker, *Zeitschr. f. allg. Physiol.*, 1914, t. XVI, p. 340; *Ber. d. chem. Ges.*, 1914, t. XXXXVII, p. 1024; Begemann, *Zeitschr. f. allg. Physiol.*, 1914, t. XVI, p. 352; Pflügers, *Archiv. f. d. ges. Physiol.*, 1915, und Inaug. Dissert., Bern, 1914.

2) Senter, *Zeitschr. f. physik. Chem.*, 1903, t. XLIV, p. 247; 1905, t. LXI, p. 673: Woker, Die Katalyse, allg., Teil, Stuttgart, 1910, pages 333-337.

substances qui empoisonnent la catalase (HCN, H_2S, NH_2-OH) sont capables de s'additionner au groupe aldéhydique.

Il est aussi possible que les préparations dont s'est servi M. Bach ne soient plus des aldéhydes. Cependant il ne me paraît pas que l'on puisse en tirer la conclusion que les ferments actifs qui se trouvent dans les sucs naturels doivent se comporter de la même manière. Au contraire, cela semble très improbable quand on considère la nature très instable des aldéhydes, surtout des aldéhydes colloïdales, et les procédés rigoureux auxquels ces ferments sont soumis pour les isoler et les obtenir à l'état pur. L'échantillon de peroxydase que M. Bach a employé a été obtenu par précipitation d'un extrait de raifort par le sous-acétate de plomb. La purification du précipité se faisait par dialyse et ultrafiltration. Quant à la matière qui catalyse le peroxyde d'hydrogène, M. Bach l'a obtenue en précipitant un extrait de foie de porc par l'alcool. C'est-à-dire que les deux ferments ont été dénaturés et qu'il est aussi impossible de les régénérer que de rendre sa nature première à l'albumine dénaturée par les réactifs en question, ces ferments étant en rapport très intime avec l'albumine précipitée, laquelle pourrait même constituer les ferments en question.

On ne peut supposer qu'une substance possédant de telles qualités conserve son caractère aldéhydique, ni admettre, comme l'a fait M. Bach, qu'il suffise de placer sa peroxydase dans le milieu naturel de la catalase afin d'obtenir des réactions de catalase et inversement. Ce qui existe réellement dans les substances dites peroxydase et catalase, ce sont des produits métamorphosés qui n'offrent qu'une partie des réactions originaires, les autres réactions étant annulées (selon les conditions de précipitation, la décomposition du peroxyde d'hydrogène ou l'action peroxydante).

Il en est de même pour le processus de dénaturation par la chaleur. Comme différence entre la catalase et la peroxydase, M. Bach mentionne que la peroxydase rendue inactive par la chaleur redevient active si elle est soumise à une température plus élevée, tandis que la catalase ne présente pas ce phénomène de régénération. Mais au point de vue de l'hypothèse d'identité, ce fait ne nous dit autre chose que ce qui suit :

Le principe fondamental qui agit, aussi bien pour la catalase que pour la peroxydase, subit un changement graduel avec l'élévation de la température. Pendant cette métamorphose, il se produit d'abord une substance qui n'a pas la faculté de dédoubler le peroxyde d'hydrogène ni d'avoir un effet peroxydant. Cependant, lorsqu'on élève la température, un corps nouveau se produit, qui est capable d'un effet peroxydant en présence du peroxyde d'hydrogène, mais qui ne peut décomposer ce même peroxyde. Cette matière thermostable est sans doute d'une individualité différente de celle du ferment thermostable dont elle est issue. Voilà pourquoi on ne peut parler de la régénération d'une peroxydase morte. De plus, on peut se demander s'il est permis d'admettre des ferments thermostables.

Même en acceptant que les substances dont M. Bach s'est servi soient identiques aux ferments contenus dans les sucs naturels, il serait impossible de se figurer que la catalase se transforme en peroxydase et inversement, en plaçant l'une dans le milieu de l'autre. Les substances qui activent et paralysent l'action fermentative d'un extrait sont entraînées avec le ferment quand on précipite celui-ci dans un milieu quelconque. Une préparation de catalase ou de peroxydase ne représenterait donc autre chose qu'un précipité contenant des substances accessoires à côté du ferment plus ou moins altéré. Dans le cas de la catalase, ces substances accessoires ont la propriété, ou bien d'accélérer considérablement la décomposition du peroxyde d'hydrogène, ou bien de diminuer d'une manière excessive le processus peroxydant. Dans le cas de la peroxydase, les substances accessoires accélèrent le processus peroxydant ou bien elles diminuent la décomposition du peroxyde d'hydrogène. Pour le changement de peroxydase en catalase et inversement, il serait donc nécessaire de remplacer les substances accessoires de l'une par les substances accessoires de l'autre. On pourrait critiquer les deux seules méthodes qui semblent praticables. On peut ajouter l'un des ferments à la solution bouillie de l'autre ou bien on peut ajouter de la peroxydase rendue inactive par la chaleur à la solution de catalase purifiée, ou inversement. Mais si l'on employe la première méthode, les substances accessoires

qui dirigent l'action fermentative sont transportées avec le ferment lui-même dans le nouveau milieu lorsqu'on ajoute la catalase ou la peroxydase à l'extrait bouilli qui, avant d'être chauffé, avait montré les qualités de peroxydase ou de catalase. Comme le nouveau milieu avait été dénaturé par le chauffage, il n'y a pas moyen d'admettre une surcompensation des substances accessoires par les matières activantes et paralysantes qui se trouvent dans l'extrait bouilli, car on a éliminé de l'extrait en question, non seulement le ferment, mais encore ces substances accessoires caractéristiques qui sont adsorbées par le ferment coagulant.

Pour ce qui concerne la seconde méthode dont M. Bach s'est servi, il fallait admettre premièrement que le ferment est thermolabile, tandis que les coferments qui l'accompagnent dans les substances de peroxydase et de catalase ne le sont pas, et deuxièmement que les coferments de la matière chauffée sont capables de surcompenser l'effet des coferments de la matière qui n'a pas été chauffée. Comme M. Bach ne nous donne aucune preuve à l'appui de telles suppositions, j'estime qu'il n'a pas réussi à créer les conditions nécessaires pour la prépondérance de l'une ou de l'autre des réactions concurrentes, et c'est pour cela qu'il n'a pu non plus réussir à changer l'effet de la catalase en l'effet de la peroxydase et inversement.

Il est important de relever encore que le point essentiel de mon hypothèse d'identité consiste dans cette théorie de la concurrence de deux réactions simultanées d'un peroxyde (formé par l'addition du peroxyde d'hydrogène au ferment fondamental) dont l'une comprend la décomposition du peroxyde d'hydrogène (effet de catalase) et l'autre l'action peroxydante en présence d'une matière chromogène. La plus rapide des deux réactions remporte la victoire.

Il s'agit ici d'une hypothèse qui résulte directement de l'expérience. En premier lieu c'est l'observation, qui se répète à chaque essai, que la réaction de peroxydase est d'autant plus faible que les extraits de plantes sont demeurés en contact plus prolongé avec le peroxyde d'hydrogène avant l'addition de benzidine. Je ne savais comment m'expliquer ce fait à moins de me figurer que le ferment, ou son produit d'addition avec le per-

oxyde d'hydrogène diminuaient plus ou moins selon la durée du contact, par réaction avec l'excès du peroxyde d'hydrogène [1], avant qu'ils pussent réagir sur la benzidine. La prépondérance de l'une des deux réactions simultanées résulterait donc de ce que la réaction de catalase commençait plus tôt.

Cependant la prépondérance peut encore se produire d'autre façon. Les deux réactions simultanées, alimentées par la même substance, diffèrent d'autant plus de rapidité que cette substance — le ferment en question, ou son produit d'addition au peroxyde d'hydrogène — est diminuée par la réaction la plus rapide, avant que l'autre réaction ait trouvé le temps de former ses propres produits. Un cas semblable a été constaté par M. Begemann, qui observa que les sucs de champignons produisent une décomposition impétueuse du peroxyde d'hydrogène, tandis qu'ils ne colorent pas la benzidine. Malheureusement M. Bach n'a pas mentionné l'élément essentiel de mon hypothèse : la rapidité de la réaction et toutes ses conséquences. C'est pour cela que ni M. Bach lui-même ni personne d'autre, ne pourraient admettre comme preuve d'identité mon argumentation qui consisterait d'après M. Bach simplement en ceci : « Les sucs de champignons qui ne contiennent pas de peroxydase renferment beaucoup de catalase ». En ce qui concerne les autres preuves, M. Bach ne les admet pas non plus. Il est plutôt d'avis qu'on pourrait prouver de cette manière aussi bien l'identité que la non-identité. J'avais mentionné d'abord que M. Begemann a trouvé que la relation entre la catalase et la peroxydase n'est pas changée par la dialyse. Il serait en tout cas très singulier d'admettre que deux ferments d'une individualité différente possédassent une vitesse osmotique absolument égale. La plus petite différence de diffusibilité se manifesterait au bout d'un certain temps par l'altération de la proportion entre la catalase et la peroxydase dialysées comparée à celle constatée dans l'extrait primitif.

Il est tout aussi invraisemblable d'accepter que deux ferments différents puissent être rendus inactifs par la même tempéra-

[1] Réaction de catalase se trahissant par le développement d'oxygène au moment où l'on ajoute le peroxyde d'hydrogène à l'extrait de plantes.

ture, comme je l'avais constaté avec M. Begemann. Déjà avant nous, M. Lövenhart [1] avait observé qu'une élévation de température aussi bien que la présence de poisons, exercent une influence analogue sur la peroxydase et la catalase [2].

De plus, M. Begemann n'a pas seulement constaté que l'augmentation de la catalase et celle de la peroxydase pendant la germination du maïs marchent de pair, mais aussi que toute altération produite par l'étiolement et les différentes longueurs d'onde de la lumière, est presque toujours de même ordre pour les deux ferments.

Enfin j'avais constaté que les aldéhydes aliphatiques d'une constitution très simple, surtout l'aldéhyde formique, possèdent la double propriété de peroxydase et de catalase. Mais M. Bach n'est pas de mon avis. Il croit que la coloration de la benzidine, que j'avais observée en ajoutant sa solution au mélange des solutions aqueuses de l'aldéhyde et du peroxyde d'hydrogène sur un papier à filtrer, est causée par des traces d'acide provenant de l'aldéhyde dans des conditions qui favorisent l'oxydation.

C'est dommage que M. Bach n'ait pas fait quelques essais qui lui auraient démontré que son interprétation n'est pas juste. Il aurait obtenu la coloration de la benzidine avec une solution neutralisée d'aldéhyde formique et même en solution alcaline ; et il l'aurait obtenue non seulement en exécutant la réaction sur du papier à filtrer, mais aussi dans un tube à essai. Dans ce dernier cas une petite modification est nécessaire, parce que la benzidine elle-même est très peu soluble dans l'eau. C'est pour cela que la solution alcoolique de la benzidine prend l'aspect laiteux que M. Bach a constaté lorsqu'on ajoute cette solution à la solution aqueuse de l'aldéhyde et du peroxyde d'hydrogène. La séparation ayant lieu immédiatement, il n'est pas étonnant que le corps, devenu insoluble, ne réagisse pas. Il s'agit donc

[1]) Lövenhart et Kastle, *Americ. chem. Journ.*, 1901, t. XXVI, p. 539 ; 1903, t. XXIX, p. 397.

[2]) Quant à ce qui concerne la régénération de l'action peroxydante en chauffant la peroxydase au-dessus de la limite de destruction du ferment, j'ai déjà expliqué auparavant par quelles raisons ce fait ne me semble pas prouver la non-identité de la catalase et de la peroxydase.

de faire passer la benzidine à l'état soluble. C'est fort simple. On sait que les sels des bases insolubles sont presque toujours facilement solubles dans l'eau. C'est pour cela que mes élèves et moi avons remplacé la solution alcoolique de la benzidine par une solution aqueuse de chlorhydrate de benzidine saturée à chaud; nous nous sommes servis de cette solution aussi bien pour la recherche de la peroxydase que pour ses analogues aldéhydiques [1]. Au lieu de se servir du sel déjà préparé, on peut le produire dans le liquide même en y ajoutant un acide quelconque dont le sel soit soluble. Voilà pourquoi il faut ajouter de l'acide acétique dans la plupart des procédés employés pour la recherche de la peroxydase de n'importe quelle origine. L'observation de M. Bach, que des traces d'acide acétique ou d'acide formique sont capables de colorer des liquides contenant de la benzidine libre, du peroxyde d'hydrogène et de l'aldéhyde acétique ou formique, s'explique donc tout simplement par la formation d'un sel soluble, soit de l'acétate ou du formiate de benzidine. Mais la fonction de l'acide n'a pas d'influence sur la réaction elle-même; l'acide libre est au contraire incapable de produire une coloration de la benzidine. S'il en était autrement, toute recherche de peroxydase exécutée en présence d'acide acétique ne serait qu'une recherche d'acide acétique. Cette supposition est naturellement absolument impossible, puisqu'on se sert couramment de cette réaction de peroxydase (réaction de Wilkinson et Peters) pour déceler la présence du lait cru dans le lait cuit. Si l'acide acétique qu'on ajoute, pouvait produire la réaction, on trouverait de la peroxydase dans le lait bouilli aussi bien que dans le lait cru et dans leurs mélanges, et l'on aurait bien vite abandonné cette réaction. Les propriétés de peroxydases que montrent quelques aldéhydes ne sont donc pas touchées par la critique de M. Bach, d'autant plus que ces aldéhydes donnent les réactions de peroxydase les plus typiques. D'après M. Bach, ni le pyrogallol, ni le gaiacol, ni l'hydroquinone, ne subissent d'oxydation sous l'influence d'un mélange d'aldéhyde formique et de peroxyde d'hydrogène. Il se peut que

[1]) Il faut diluer les solutions de l'aldéhyde pour éviter une réaction secondaire entre le groupe aldéhydique et les groupes NH_2 de la benzidine.

ces réactions exigent certaines conditions qui n'ont pas encore été réalisées. En tout cas l'aldéhyde formique donne la réaction classique de peroxydase : la coloration d'un mélange de gaiac et d'essence de térébenthine, ainsi que la décomposition de l'iodure de potassium et la décoloration d'une solution d'indigo, si on ajoute un peu de peroxyde d'hydrogène. Il en est de même des conditions d'adsorption. En précipitant la caséine du lait cru d'après la méthode quantitative de Hoppe-Seyler, on n'obtient aucune réaction de peroxydase dans le serum du lait. Le précipité, au contraire, donne une réaction excessivement forte avec la benzidine. Le lait bouilli auquel on a ajouté un peu d'aldéhyde formique se comporte absolument de même. Malgré sa constitution simple, le modèle aldéhydique de la peroxydase est adsorbé quantitativement par le précipité de caséine.

Pour finir, il y a encore un fait à mentionner qui n'est pas sans importance pour la question de l'identité de la catalase et de la peroxydase. Si la réaction peroxydante est limitée par la concurrence de la réaction catalytique, comme je l'ai admis, il doit exister un optimum de la réaction peroxydante qui dépend en tout cas de la quantité du ferment. On obtiendra cet optimum en présence de la quantité de peroxyde d'hydrogène exactement nécessaire pour former le peroxyde effectif en s'additionnant au ferment fondamental, en admettant sa constitution aldéhydique. Un excès de peroxyde d'hydrogène ne servirait à rien ; il diminuerait au contraire l'action oxydante sur la matière chromogène, en maintenant l'action concurrente de catalase [1]. Les résultats s'accordent avec cette hypothèse. Les traces de peroxyde d'hydrogène qui adhèrent à une pipette, sont presque toujours capables de produire des colorations d'une

[1]) En ce sens, la catalase peut être regardée comme antagoniste de la peroxydase. Le fait mentionné par M. Bach (p. 66, l. c.) que « la catalase, même employée en très grand excès, n'empêche pas une quantité minime de peroxydase de manifester son action dans ces conditions », ne prouve rien contre ce point de vue, l'action antagoniste étant causée par le seul fait de la destruction du ferment par la réaction catalytique concurrente. Si on ajoute de la catalase, comme l'a fait M. Bach, la réaction catalytique n'est, au contraire, pas concurrente de la réaction peroxydante et pour cela non plus antagoniste ; car elle est alimentée entièrement par le nouveau venu, le ferment ajouté.

plus grande intensité et d'une plus grande durée que le contenu de la pipette entière. Si cette quantité minime ne suffit pas pour obtenir l'optimum, on continue à ajouter de très petites quantités de peroxyde d'hydrogène, jusqu'à ce que l'on obtienne la coloration maximum. En se tenant autant que possible au-dessous de la limite à laquelle apparaît la réaction de catalase, M. Briesenmeister a réussi à rendre beaucoup plus sensible la réaction de peroxydase selon Wilkinson et Peters.

Pour me résumer, il me semble que mon hypothèse de l'identité de la catalase et de la peroxydase est appuyée par l'expérience et qu'elle n'est guère touchée par la critique de M. Bach.

Les expériences de M. Begemann, qui seront publiées dans le prochain numéro du *Pflügers Archiv,* se rapportent aussi à l'oxydase directe. Conformément à une belle théorie dont nous croyons MM. Chodat et Bach les auteurs, nous avons admis que le ferment fondamental produirait aussi bien un effet d'oxydase qu'un effet de peroxydase. Il peut arriver que ce ferment fondamental se trouve en présence d'un peroxyde naturel. En ce cas on aurait l'effet de l'oxydase directe. Plus souvent encore on trouve le ferment fondamental séparé du peroxyde qui le peut accompagner et il faut ajouter alors un peroxyde pour produire l'oxydation. En ce cas, on obtiendrait l'effet de peroxydase. En tout cas, le principe oxydant résulterait de l'addition d'un peroxyde d'origine quelconque au ferment fondamental, ce que j'avais exprimé par la formule

$$R-CH=O + \begin{array}{c} O-R' \\ | \\ O-R'' \end{array} = R-CH \begin{array}{l} \diagup O-OR' \\ \diagdown OR'' \end{array}$$

(R, R′ et R″ étant des radicaux organiques qui peuvent être identiques ou non ; quand il s'agit du peroxyde d'hydrogène, R′ et R″ sont remplacés par H). J'avais nommé « oxygénase » ce ferment fondamental dont j'admets la constitution aldéhydique, mais il serait peut-être plus conforme aux idées de MM. Chodat et Bach d'admettre que le peroxyde naturel $\begin{array}{c} R'-O \\ | \\ R''-O \end{array}$ prendrait naissance à partir de l'oxygénase. En ce cas, ces

corps ne pourraient naturellement pas être identiques. Enfin j'avais admis que le ferment fondamental de nature aldéhydique pourrait agir comme perhydridase (réductase), en l'absence de tout peroxyde et d'oxygène libre. M. Bach est d'un avis contraire, mais comme il a basé sa critique sur des expériences analogues à celles destinées à prouver la non-identité de la catalase et de la peroxydase, je ne crois pas, pour les raisons déjà données, qu'il ait réussi à trouver les conditions nécessaires pour l'altération de l'effet fermentatif. Peut-être la réalisation de ce problème est-elle pour le moment impossible, tant que nous ne disposerons que de nos moyens assez primitifs. La question d'identité entre les ferments qui produisent des oxydations ou des réductions serait donc analogue à la question d'identité entre la pepsine et la présure.

LES

CÉVENNES MÉRIDIONALES

(MASSIF DE L'AIGOUAL)

ÉTUDE PHYTOGÉOGRAPHIQUE

PAR

Josias BRAUN

(Suite[1])

---

7. *Association mixte du chêne vert et du chêne blanc*

Tous les taillis de chênes verts dont nous venons de nous occuper sont situés sur sol granitique ou schisteux pauvre en Ca. L'absence dans notre domaine de taillis continus sur sol calcaire est un phénomène surprenant. Dans la vallée la plus favorisée au point de vue climatique, celle de l'Arre, qui possède une flore méditerranéenne riche, le chêne vert est subordonné au chêne blanc et ne dépasse pas 600 m. en peuplements mixtes et 700 m. en pieds isolés, tandis qu'il s'élève à 980 m. en peuplements purs à l'Aigoual sur sol siliceux.

A l'égard de la composition chimique du sol, *Quercus Ilex* est indifférent; il pourrait tout aussi bien dominer sur les calcaires précambriens, sur les diverses couches jurassiques et liasiques de la vallée de l'Arre que sur la silice des contrées voisines. *Quercus Ilex* et *Qu. sessiliflora se mélangent* d'ailleurs assez souvent et on constate facilement que le premier est rem-

[1]) Voir *Archives*, 1915, t. XXXIX, p. 72, 167, 247, 339.

placé par le second à l'ubac et vers le haut *dans des stations analogues*. Il n'en est pas ainsi dans le climat plus sec et plus chaud de la plaine languedocienne. Là les exigences du rouvre diffèrent visiblement ; nous le trouvons fixé aux sols humides et profonds ; il y marquerait même une certaine préférence pour le substratum siliceux (cf. aussi Cabanès, l. c. 1912, p. 91). Dans la basse vallée du Vidourle, par exemple, il longe la rivière ; entre Sommières et Quissac, comme autour du Pic Saint-Loup, nous le voyons cantonné encore sur les petites plaines entre 150 et 250 m. d'altitude ou dans les bas-fonds et les dépressions un peu humides. Il y abandonne toutes les collines sèches au chêne vert. Mais à mesure qu'on s'éloigne de la bordure méditerranéenne, à mesure qu'on s'élève et que les précipitations sont plus abondantes, *Quercus sessiliflora* devient plus fréquent. Il peuple d'abord les ubacs frais (Saint-Loup, Sérane) puis se mêle au chêne vert aux expositions est et ouest et enfin, sur les contreforts méridionaux de notre massif, aux environs du Vigan, il s'avance même sur les adrets et y devient dominant dans tous les terrains calcaires. Sur les grands Causses, il peuple surtout les adrets, cédant les ubacs au hêtre ; plus on le suit vers le nord, plus on le voit se retirer sur les versants exposés en plein midi, chauds et secs. En Suisse on le rencontre presque exclusivement dans des stations pareilles à sol peu profond, rocheux ou graveleux. L'arbre qui, dans le midi, recherche l'humidité et les sols peu perméables, est cantonné en Suisse dans les stations xérophiles !

Quercus sessiliflora n'est d'ailleurs pas l'unique exemple d'une telle possibilité d'adaptation. Beaucoup d'arbustes et de plantes herbacées, p. ex. *Coronilla Emerus, Ligustrum vulgare, Globularia vulgaris, Bromus erectus, Andropogon Ischaemum, Brachypodium pinnatum,* se comportent de la même façon ; toutes possèdent une grande élasticité à l'égard du sol, et les facteurs édaphiques et climatiques peuvent dans une large mesure se compenser réciproquement.

La caractéristique de l'habitat du *Quercus sessiliflora* donné par M. Mathieu (l. c. 1897) s'applique aussi aux Cévennes. C'est l'arbre des terrains secs et chauds, préférant le sol calcaire. Le chêne vert occupe les mêmes stations ; mais étant plus xérophil

et tout à fait indifférent à l'égard de la composition chimique du sol, il a la primauté évidente sur le rouvre dans les terrains pauvres en Ca et là où le ruissellement est très fort. Et il y triomphe dans la lutte invisible mais continuelle entre les deux essences. La concurrence détermine donc, en dernière analyse, la distribution particulière des deux chênes dans nos vallées méridionales. Sur les pentes siliceuses à fort ruisselement de la vallée de l'Hérault, *Quercus Ilex* l'emporte, sur les calcaires de la vallée de l'Arre le rouvre, favorisé par les conditions du milieu, repousse son concurrent sur les adrets les plus chauds de l'étage inférieur.

Chaque côte, chaque petite colline nous en donne une illustration. Les versants nord, nord-est et nord-ouest portent des peuplements presque purs de chênes blancs ; plus le versant s'oriente vers le sud, plus la proportion du chêne vert augmente ; il règne seul aux expositions les plus chaudes. Ces peuplements mixtes où domine tantôt le chêne blanc, tantôt le chêne vert, sont assez fréquents sur le calcaire des environs du Vigan ; mais ils ne dépassent pas la colline d'Arre (450 m.). Un seul individu isolé de *Quercus Ilex* a pénétré jusqu'à Aumessas (450 m. environ d'après M. le Dr Espagne).

L'ensemble floristique des peuplements mixtes de chênes verts et chênes blancs diffère beaucoup des taillis purs de chênes verts sur sol siliceux. Une nombreuse série d'espèces calcifuges ont été remplacées par des calcicoles :

a) *Espèces calcifuges des taillis purs de chênes verts sur Si, manquant dans les taillis mixtes*

Arbutus Unedo	*Sarothamnus scoparius*
Cistus salvifolius	*Silene Armeria*
Erica arborea	*Nardurus Lachenalii*
— *cinerea*	*Helianthemum guttatum*
Calluna vulgaris	*Anarrhinum bellidifolium*

Andryala sinuata

b) *Espèces des taillis mixtes sur Ca, manquant dans les taillis purs sur Si*

Aphyllanthes monspeliensis	*Avena bromoides*
Lavandula latifolia	*Carex Halleriana*

Jasminum fruticans — *Ononis minutissima*
Dorycnium suffruticosum — *Astragalus monspessulanus*
Coronilla minima — *Aristolochia Pistolochia*
Cephalaria leucantha

A côté des caractéristiques communes aux taillis mixtes sur Ca et aux taillis purs sur Si *(Ruscus, Smilax, Clematis Flammula, Rubia peregrina, Phillyrea media, Lonicera etrusca)* on observe aussi *Aphyllanthes, Jasminum fruticans, Rhamnus Alaternus* qui manquent dans nos taillis purs, mais se rencontrent en abondance dans la même association des terrains calcaires de la bordure cévenole et de la plaine. *Les taillis mixtes constituent donc un mélange, une pénétration de l'association du chêne blanc et de la variation calcaire due au substratum* (Substrats-variation) *du Quercetum Ilicis.* Cette dernière variation à l'état de taillis purs s'arrête déjà au versant sud du rocher de la Tude vers 700 m. d'altitude. Dans la vallée de l'Arre, les taillis mixtes (cantonnés sur sol calcaire) atteignent leur limite extrême dans la direction du massif central.

Le tableau ci-dessous permet de poursuivre la pénétration réciproque du chêne vert et de son cortège et du chêne blanc, y compris sa variété pubescens.

Nos relevés ont été faits aux localités suivantes, situées toutes sur sol calcaire :

N° 1. Colline d'Arre 350 m., sud-est, sol rocheux.

N° 2. Versant ensoleillé au-dessus de Journet (Vigan) 450 m.

N° 3. Entre Molières et Esparron 450 m., sud, taillis clairiéré.

N° 4. Entre Bez et Esparron 400 m., sud.

N° 5. Bande calcaire sous Pratcoustal 450 m., nord-est.

N° 6. Vallon d'Arrigas 600 m., sud, pente raide.

N° 7. Au-dessus de Lavalette près de Bez 450 m., nord-ouest taillis fermé.

N° 8. Au-dessus d'Arrigas 700 m., sud-est, taillis clairiéré.

N° 9. Entre Gatuzières et le Moulin de Plembel 850 m., est, taillis clairiéré, envahi de *Buxus*.

N° 10. Causse d'Ayres, nord-est, en haut du vallon de Gatuzières 950 m.

Notre tableau montre que les taillis dominés par le chêne vert (1 et 2) ne diffèrent guère dans leur composition floristique des taillis *purs* de chênes verts sur *sol calcaire*. Les associés du rouvre, s'ils s'y trouvent *(Coronilla minima, C. Emerus, Amelanchier, Brachypodium pinnatum)* disparaissent dans la masse des espèces propres au chêne vert. Ils sont un peu plus abondants dans les taillis dominés par le chêne blanc *(Cephalanthera grandiflora, C. rubra, Helleborus fœtidus, Corylus, Viola scotophylla, Acer campestre)*; mais l'ensemble de leur flore les rattache encore plutôt au chêne vert. Même les taillis purs de chêne blanc situés sur la zone limitrophe, renferment bon nombre d'échappés de l'association du chêne vert *(Aphyllanthes, Ruscus, Rubia peregrina, Lavandula latifolia, Dorycnium suffruticosum, Spartium junceum*, etc.). Sur le versant atlantique du massif (et à l'ubac du Causse de Blandas) seulement le caractère pur de l'association du chêne blanc se révèle nettement dans les relevés 8 et 9; ils se rapportent pourtant à deux exemples assez jeunes et peu évolués.

En même temps, avec le changement floristique, se produit un changement des principaux types biologiques. Les Phanérophytes à feuilles caduques et les Hémicryptophytes deviennent de plus en plus prépondérants sur les Phanérophytes toujours verts, à mesure que le chêne blanc domine. Notre tableau résume clairement cette transformation dans la zone de lutte, de pénétration réciproque.

E. Groupe d'associations d'arbres feuillus, type chêne blanc

8. *Association du chêne blanc*

(Quercetum sessiliflorœ)

Si le voyageur venant du midi pénètre par le fameux défilé de Donzère dans la vaste plaine alluviale de Montélimar, il est frappé du changement d'aspect de la végétation. Le chêne vert, l'essence caractéristique des pays méditerranéens, devient rare, et cède la place au chêne blanc. Le même phénomène se pro-

Tableau des taillis mixtes de Quercus Ilex *et* sessiliflora *et des taillis purs de* Quercus sessiliflora

	ESSENCES	Quercus Ilex > Quercus pubescens		Quercus sessiliflora v. pubescens > Quercus Ilex			QUERCUS SESSILIFLORA PUR (*incl. var.* pubescens)				
	NUMÉRO DU RELEVÉ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	ALTITUDE M. S. M.	350	450	450	400	450	600	450	700	850	950
	a) *Caractéristiques du chêne vert*										
P	Ruscus aculeatus	3	2	....	+	+	+	+	....	....	....
P	Smilax aspera	+	+	+	....	....	....	....	....	....	....
P	Quercus Ilex	7	2—6	3	1	2—3	....	....	....	....	....
P	Clematis Flammula	+	....	+	+	+	....	....	....	....	....
P	Rubia peregrina	+	....	+	+	+	+	+	....	....	....
P	Asparagus acutifolius	+	+	+	+	....	....	....	....	....	....
P	Lonicera etrusca	+	+	+	+	+	....	....	....	....	....
P	Phillyrea media	3	+	....	....	....	....	....	....	....	....
P	Osyris alba	+	+	+	....	....	....	....	....	....	....
P	Daphne Gnidium	....	+	....	....	....	....	....	....	....	....
P	Rhamnus Alaternus	....	+	....	....	....	....	....	....	....	....
P	Jasminum fruticans	+	....	....	....	....	....	....	....	....	....
Ch	Aphyllantes monspeliensis	+	+	3	+	+	....	....	....	....	....
	b) *Caractéristiques du rouvre*										
H	Lathyrus niger	....	....	....	....	....	....	....	....	+	....
H	Inula spiræfolia (I. squarrosa)	....	....	....	....	....	....	....	....	+	....
H	Lathyrus latifolius	....	....	....	....	....	....	+	....	....	....
G	Limodorum abortivum	....	....	....	....	....	....	+	+	....	....
G	Cephalanthera grandiflora	....	....	....	....	+	....	+	....	....	....
P	Daphne Laureola	....	....	....	....	....	....	+	+	+	+
H	Mercurialis perennis	....	....	....	....	....	....	....	....	+	+
H	Bupleurum falcatum	....	....	....	....	....	....	....	....	+	....

P	Quercus sessiliflora	1—2	2—7	3—4	5	5—6	7	9	4—6	4—7	5—6
Ch	Coronilla minima	+	+	+	+	....	....	+	....	+	....
P	— Emerus	+	+	....	....	+	+	....	....	+	+
Ch	Helleborus fœtidus	....	....	....	+	+	+	+	+	+	+
H	Melittis Melisophyllum	....	....	....	....	....	+	+	....	+	+
H	Anemone Hepatica	....	....	....	....	....	....	+	....	+	+
	c) *Constantes*										
P	Buxus sempervirens	2	+	4	+	+	4	+	+	7	+
H	Brachypodium pinnatum	2	+	+	+	6	+	+	....	+	+
Ch	Teucrium Chamædrys	+	+	+	+	+	+	+	+	+	....
Ch	Thymus vulgaris	+	+	+	+	+	3	+	+	....	....
Ch	Lavandula latifolia	+	+	+	....	....	3	+	+	....	....
P	Amelanchier vulgaris	+	....	+	+	+	....	+	....	+	+
H	Carex Halleriana	+	+	....	+	+	+	+	....	....	+
H	Hippocrepis comosa	+	+	+	....	+	+	+	+	....	....
H	Dactylis glomerata	+	....	....	+	+	+	+	+	....	+
G	Pteris aquilina	....	+	2	+	+	+	+	....	....	....
H	Bromus erectus	....	....	+	+	+	2	5	6	....	....
P	Rhamnus infectoria	+	....	....	+	+	....	+	+	....	....
H	Astragalus monspessulanus	....	+	....	....	+	+	+	5	....	....
Ch	Dorycnium suffruticosum	....	....	4	+	....	4	+	+	....	....
H	Avena bromoides	+	+	+	....	....	+	....	+	....	....
	d) *Espèces accessoires principales*										
P	Prunus Mahaleb	+	....	....	+	+	....	....	....	....	....
Ch	Psoralea bituminosa	+	+	+	+	....	....	....	....	....	....
P	Pistacia Terebinthus	+	+	+	+	....	....	....	....	....	....
P	Euphorbia Characias	....	+	+	+	....	2	....	....	....	....
Ch	Convolvulus cantabrica	+	....	....	+	....	+	....	+	....	....
G	Cephalanthera rubra	....	....	....	....	+	+	+	+	....	....
Ch	Euphorbia amygdaloides	....	....	....	....	....	....	+	+	....	+
P	Corylus Avellana	....	....	....	+	....	....	....	....	+	+
P	Viburnum Lantana	....	....	....	....	....	....	....	....	+	+
G	Polygonatum officinale	....	....	....	....	....	....	....	....	+	+

duit dans nos Cévennes; mais ici, une chaîne de montagnes formant la limite, le contraste est bien plus frappant encore.

De part et d'autre *Quercus sessiliflora* (incl. v. *pubescens*) remplace le chêne vert, fait général d'ailleurs vers le sud-ouest de la France, les Pyrénées méditerranéennes espagnoles (Flahault) et l'Italie septentrionale.

Les forêts de chênes blancs qui, sans doute, peuplaient jadis nos basses montagnes n'existent plus. A peine rencontre-t-on quelques vieux survivants, échappés à la hâche, dans des gorges inaccessibles ou les forêts domaniales. Les plus beaux exemplaires, de véritables géants, ornent la propriété de Roquedols prés de Meyrueis.

Les vestiges des anciennes forêts ont survécu à l'état de taillis soumis à des coupes régulières avec des révolutions de vingt à quarante ans. L'arbre trouve son domaine préféré dans les terrains calcaires, perméables. Nous en avons cependant rencontré de beaux taillis sur sol schisteux et granitique ; si le chêne blanc n'y est pas plus répandu, la concurrence du chêne vert et la protection accordée au châtaignier paraissent en être la raison principale. Dans les escarpements des « cales » et les vallons perdus de la montagne siliceuse où l'homme pénètre rarement, le chêne blanc *(Quercus sessiliflora)* est l'arbre dominant, auquel s'ajoutent les érables *(Acer monspessulanus, A. opulifolium)* le frêne *(Fraxinus excelsior)*, etc. Il se rencontre aussi, plus ou moins fréquent, sur Si dans tout le domaine du chêne vert, ainsi que dans les châtaigneraies éloignées des sites humains, exploitées irrégulièrement.

La limite supérieure des peuplements continus dans les Cévennes varie entre 900 et 1050 m. En individus isolés *Quercus sessiliflora* monte cependant beaucoup plus haut. Dans les rochers à l'ouest de l'Hort-de-Dieu à 1270 m. d'alt. nous avons mesuré un vieux tronc vivant encore, de 2 m. 20 de circonférence, couvert par des Epiphytes cryptogames et phanérogames. A l'entrée du Valat de la Dauphine, des arbres isolés s'avancent jusqu'à 1300 m. et à l'est de l'Hort-de-Dieu à 1320 m. Les derniers pieds rabougris s'élèvent jusqu'à 1400 m. sur les pentes méridionales du Grand Aigoual.

Entre 900 et 700 m. le *Quercus sessiliflora* fait place à la

forme pubescent (var. *pubescens* [Willd.]), qui seule descend dans les basses vallées.

Au point de vue économique, le chêne blanc joue un rôle assez important dans les Cévennes. Son bois est recherché comme combustible, l'écorce s'emploie dans la tannerie ; le feuillage est brouté par les ovidés. Souvent aussi on émonde les arbres, et on réunit en fagots les rameaux qui servent comme ceux du châtaignier, à nourrir les moutons pendant les mauvais jours de l'hiver.

Le mode de traitement en taillis, exploités régulièrement, favorise le développement du sous-bois et du tapis herbacé ; mais la fructification normale de l'arbre en souffre. Sa reproduction se fait presque exclusivement par des rejets; il est rare de rencontrer dans les taillis un individu réservé par les coupes et portant des fruits.

La composition floristique des taillis démontre qu'il n'existe pas de distinction absolument nette entre l'association mixte du chêne vert et chêne blanc et les peuplements de chêne blanc. On constate au contraire une transition ménagée suivant l'élévation et la latitude, transition qui s'exprime à la fois par l'extinction successive des caractéristiques du chêne vert et par l'apparition de nouvelles caractéristiques plus ou moins spéciales au chêne blanc, telles que *Lathyrus latifolius, L. niger, Inula squarrosa, Limodorum, Daphne Laureola, Cephalanthera grandiflora,* etc. (voir tableau p. 420 et 421).

Ce tableau révèle un phénomène des plus intéressants: la pénétration réciproque des principales associations de régions différentes sur la limite climatique des deux régions. Or, nous savons qu'il existe pour chaque limite de territoires phytogéographiques une zone contestée (cf. A. de Candolle l. c. 1854), où les éléments se confondent et se combattent, où il y a lutte continuelle entre les espèces aussi bien qu'entre les associations. Le moindre changement extérieur, favorable à l'un des rivaux, entraîne fatalement le refoulement de l'autre. Nos vallées méridionales sont le champ de bataille des associations du chêne vert et du chêne blanc. Suivant les conditions locales, l'un ou l'autre doit l'emporter (voir taillis mixtes).

Le versant atlantique, les vallées du Tarnon, de la Jonte supérieure, du Trévézel, de la Dourbie, appartiennent déjà

entièrement au domaine du chêne blanc. Sur le versant méditerranéen, des taillis étendus couvrent les flancs exposés au nord des Causses de Blandas et de Campestre, ainsi que les terrains incultes sur le Précambrien de la haute vallée de l'Arre.

Mais les taillis actuels, association semi-culturale, ne nous donnent pas une idée exacte de l'ancienne futaie, l'association bien développée du chêne blanc. Ce que nous voyons, même dans les taillis les mieux protégés contre toute dégradation, représente tout au plus une étape dans l'évolution de cette association.

Le sous-bois ligneux des taillis purs à *Quercus sessiliflora* offre une diversité beaucoup moins grande que celui des taillis mixtes. *Buxus sempervirens* domine presque partout. On peut le comparer en quelque sorte au genêt à balais des terrains siliceux qu'il remplace sur le calcaire. Tous deux s'établissent en peuplements purs après la destruction de la végétation arborescente. Chaque coupe du taillis favorise l'extension du buis; le chêne succombe enfin à des coupes abusives réitérées, au pâturage incessant ou au feu et le buis reste maître du terrain. Telle est l'origine des buxaies sur les pentes occidentales de la colline d'Arrigas et de plusieurs localités du Causse d'Ayres.

Signalons encore comme représentants du sous bois : *Amelanchier vulgaris, Coronilla Emerus, Prunus Mahaleb, Corylus, Viburnum Lantana, Rhamnus saxatilis* et *Rh. infectoria* (sur le versant méditerranéen). *Daphne Laureola,* localisé strictement dans les taillis du chêne blanc du versant sud, se rencontre aussi sur le versant atlantique dans les forêts de pin sylvestre. Les lianes, abondantes dans les taillis mixtes de chênes, deviennent rares dans les peuplements purs de chêne blanc *(Clematis Vitalba, Hedera Helix, Tamus communis, Lonicera Periclymenum* et très rarement *Rubia peregrina* et *Lonicera etrusca).*

Le tapis herbacé des taillis clairs où le bois n'a pas étouffé toute autre végétation, est constitué en grande partie par *Bromus erectus* et *Brachypodium pinnatum.* Le cortège floristique, d'ailleurs très variable, suivant l'âge des taillis, la densité des arbres, l'intensité du pâturage, etc., révèle son caractère relativement septentrional par l'absence des Thérophytes qui occupent une si large place dans les taillis du chêne vert. *Crupina vulgaris, Euphrasia lutea* et *Linum catharticum* sont à peu près

les seules espèces annuelles que nous ayons observées. Les Géophytes sont également très clairsemés ; *Limodorum abortivum* se rencontre de préférence dans nos taillis de chêne blanc qu'embellissent parfois aussi des *Ophrys*.

8 a. *La Buxaie* (sous-association)

(Buxetum)

Buxus sempervirens, le buis, couvre de son feuillage vert luisant les déclivités dépouillés de forêts des petits Causses sur le versant atlantique de notre massif où il s'élève jusqu'à 1100 m. Il est moins répandu sur l'autre versant; quelques peuplements y croissent sur le calcaire précambien aux environs d'Arrigas.

Ses exigences à l'égard du sol le classent ici, comme partout, dans le midi de la France, parmi les végétaux indifférents mais préférant le calcaire. A mesure qu'on se rapproche de ses limites altitudinales et boréales, l'arbuste devient calcicole exclusif. Comme bon nombre d'autres espèces (par exemple *Helleborus fœtidus, Bromus erectus, Hutchinsia petraea, Medicago minima, Argyrolobium Linnæanum,* etc.), indifférentes dans la région méditerranéenne et calcicoles vers le nord, il recherche alors sur le sol calcaire, la chaleur indispensable et la sécheresse relative dont il jouit partout dans le midi. En Suisse, nous ne connaissons aucune localité de *Buxus* en dehors des terrains calcaires compacts.

A l'égard du climat, le buis partage les exigences du *Quercus sessiliflora* v. *pubescens,* dont il forme le sous-bois principal. Les buxaies de la région cévenole peuvent être considérées comme consécutives à la destruction des forêts de chênes. La reconstitution de l'état primitif ne semble pas rencontrer de grandes difficultés. L'abondance de terre noire accumulée sous les buissons et provenant surtout de feuilles décomposées, suffit pour que le buis, abandonné à lui même, prépare l'introduction du chêne en lui ménageant dans les sols les plus stériles les possibilités de vie.

Remarquons cependant que le buis constitue une ressource appréciable pour l'habitant des causses. Employé comme litière, il produit un engrais très estimé, supérieur au fumier d'étable

et qui contient, selon M. Mathieu (l. c. 1897) 2.89 % d'azote (fumier d'étable 2 %). Aussi on le traite avec ménagement et on ne le détruit pas inutilement. Son bois, très fin et très dense, se paie cher, surtout s'il provient des souches.

Le cortège floristique des buxaies s'appauvrit à mesure que le pâturage y est plus intense. Néanmoins on y rencontre presque toujours quelques vestiges de l'association du chêne blanc. Voici l'exemple d'une buxaie étendue, sur le Causse d'Ayres 900 m. nord, sur sol calcaire rocheux :

5-10	*Buxus sempervirens*	*Cytisus sessilifolius*
3-4	*Amelanchier vulgaris*	*Genista hispanica*
	Lonicera Xylosteum	*Helleborus fœtidus*
	Ligustrum vulgare	*Digitalis lutea*
	Cratægus monogyna	*Anemone Hepatica*
	Rhamnus cathartica	*Phyteuma orbiculare*
	— *saxatilis*	*Campanula persicifolia*
	Rosa spècies	*Teucrium Chamædrys*
	Daphne Laureola	*Primula officinalis*
	Ribes Grossularia	*Senecio Gerardi*
	— *alpinum*	*Arabis auriculata*
	Geum urbanum	

L'étude détaillée du Dr Christ (l. c. 1913) nous fournit des termes de comparaison avec les buxaies du Jura suisse et d'Alsace. Leurs listes floristiques montrent la même dépendance du buis à l'égard des associations arborescentes, notamment des taillis de chênes, confirmant ainsi notre conception de la genèse des buxaies. Dans un peuplement de buis près de Tagolsheim (Alsace), M. Issler (cit. in Christ) a observé entre autres espèces :

Quercus pubescens	*Ribes Grossularia*
— *pedunculata*	*Coronilla Emerus*
Corylus Avellana	*Digitalis lutea*
Lonicera Xylosteum	*Melittis Melissophyllum*
Ligustrum vulgare	*Bupleurum falcatum*
Rhamnus cathartica	*Teucrium Chamædrys*
Cratægus species	*Brachypodium pinnatum*
Rosa canina	*Polygonatum officinale*

Pour les peuplements du Jura soleurois M. Probst (cit. in Christ) mentionne en *première ligne Quercus pubescens* et de plus :

Amelanchier vulgaris	*Digitalis lutea*
Coronilla Emerus	*Bupleurum falcatum*
Daphne Laureola	*Teucrium Chamædrys*
Helleborus fœtidus	*Campanula persicifolia*
Melittis Melissophyllum	*Asperula cynanchica*

Même si les chênes manquaient aux listes précédentes, il serait facile d'y reconnaître le cortège à peu près complet des taillis de chênes blancs.

F. Groupe d'associations d'arbres feuillus, type hêtre

9. *Aulnaie*

(*Association à* Alnus glutinosa [*et* incana])

Comme son congénère l'*Alnus incana*, dans les Alpes, *Alnus glutinosa* suit fidèlement les fleuves et les rivières du midi méditerranéen et des Cévennes, formant parfois des bosquets entremêlés de frênes, de peupliers *(Populus alba* et *nigra)* d'ormes *(Ulmus campestris)* et de saules. Plus on s'avance vers le sud, plus cet ensemble est cantonné au voisinage immédiat de l'eau. Un cortège de plantes herbacées de caractère plutôt boréal l'accompagne, constituant de véritables irradiations septentrionales dans le domaine méditerranéen, comparables aux irradiations méditerranéennes sur les pentes sèches des collines du Lyonnais et de la Suisse méridionale. L'eau courante, facteur égalisateur, favorise singulièrement cette pénétration de l'élément boréal (cf. p. 35).

Dans les Cévennes la station de l'aulnaie correspond à peu près à la bordure des cours d'eau submergée lors des crues normales, bordure très resserrée dans nos vallées étroites ; elle manque souvent complètement. Nous n'y trouvons donc que de petits tronçons de l'association bien développée.

L'étage préféré d'*Alnus glutinosa* va de la plaine à la limite inférieure de la hêtraie (1000 m.). Le long du ruisseau des Fons l'arbre s'avance cependant jusqu'à 1100 m., le long du cours de la Dourbie également j'usqu'à 1100 m., à Bramabiau jusqu'à 1080 m.

Des plantations entreprises par M. Flahault à l'Hort-de-Dieu (1300 m.) prospèrent et démontrent que l'aire de cet arbre si utile pour le reboisement et la fixation des terrains humides et glissants est susceptible d'être encore étendue.

Voici quelques indications relatives au tableau suivant. Nos relevés proviennent :

N° 1. Du Vallon du Rey 210 m., versant méditerranéen.

N° 2. Bords de l'Arre au Vigan vers Avèze 230 m.

N° 3. Bords de la Jonte, rive gauche 720 m.

N° 4. Gorge du Bramabiau 940 m.

N° 5. » » » 990 m.

Nous ajoutons quelques exemples de la même association provenant de différents pays :

N° 6. Allemagne du Nord (Hoeck, loc. cit. 1896, 1902 ; Braun.)

N° 7. Bords du Rhin à Coire, Suisse, 550 m. (Braun).

N° 8. » » » et du Glenner, Suisse, 720, 885, 950 m. (Braun).

N° 9. Torrent à Safien Platz 1250 m. et entre Vigens et Lumbrein 1300 m. (Grisons).

N° 10. Bords de l'Aar, Suisse centrale et septentrionale (Siegrist, l. c. 1913).

N° 11. Aulnaies de la Styrie et de la Carinthie (Nevole et Scharfetter).

N° 12. Aulnaie au bord de la Pioverna près Introbio, Lombardie (Braun).

Les relevés N° 1-6 se rapportent à des peuplements d'*Alnus glutinosa*, ceux de 7 à 12 à des peuplements d'*Alnus incana*. Leur affinité étroite ne peut être contestée.

Voici une liste supplémentaire des associés plus ou moins fidèles de l'aulne *(Alnus glutinosa* et *A. incana)*. Les numéros se réfèrent aux relevés du tableau ci-après.

a) *Représentés aussi dans le massif de l'Aigoual*

Viburnum Opulus	6, 7, 8, 10, 11
Sambucus nigra	6, 7, 8, 11, 12
Paris quadrifolia	6, 8, 10, 11, 12
Galeobdolon luteum	6, 7, 9, 10, 12
Cirsium palustre	1, 6, 7, 8, 11
Melica nutans	6, 7, 9, 10, 11
Viburnum Lantana	3, 7, 10, 11
Prunus Padus	6, 7, 10, 11
Rhamnus Frangula	6, 7, 10, 11
Glechoma hederacea	6, 7, 9, 10
Campanula Trachelium	6, 7, 8, 12
Carex silvatica	6, 10, 11, 12
Rhamnus cathartica	6, 7, 12
Salvia glutinosa	8, 11, 12
Galium Aparine	1, 7, 10
Lycopus europæus	1, 6, 8
Tussilago Farfara	1, 6, 11
Phyteuma spicatum	1, 4, 10
Ficaria verna	2, 6, 10
Polygonatum multiflorum	6, 10, 12
Allium ursinum	6, 7, 10
Athyrium Filix femina	1, 6, 10
Scirpus silvaticus	6, 8, 11
Caltha palustris	6, 8, 10
Solidago Virga-aurea	4, 5, 10
Pulmonaria officinalis	6, 11, 12
Oxalis Acetosella	4, 6, 9
Melandrium diurnum	4, 9, 10
Convolvulus sepium	1, 2, 10

b) *Manquent dans le massif de l'Aigoual*

Festuca gigantea	6, 7, 8, 10, 11, 12
Thalictrum aquilegifolium	7, 8, 10, 11, 12
Impatiens noli tangere	6, 8, 9, 10
Berberis vulgaris	7, 10, 11
Salix nigricans	7, 10, 11

ESSENCE		ALNUS GLUTINOSA						ALNUS INCANA					
		Cévennes					Allemagne du nord	Suisse orientale			Suisse centrale	Styrie et Carinthie	Italie septentrionale
NUMÉRO DU RELEVÉ		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 (Siegrist)	11 (Nevole et Scharfetter)	12
ALTITUDE M. S. M.		210	230	720	940	990	—	550	720, 885, 950	1250-1300	300-550	—	590
a) *Caractéristiques de 1er et 2e ordre*													
P	Alnus glutinosa	+	+	+	+	+	+	....	....	....	....	....	....
P	Populus alba	....	+	+	+	+	....	....	....	....	+	....	....
P	— nigra	....	+	....	....	....	....	+	....	....	+	+	....
H	Epilobium hirsutum	....	+	+	....	....	+	+	....	....	....	....	+
H	Agropyrum caninum	....	....	+	+	3	....	+	+	....	+	....	+
H	Stachys silvatica	+	....	+	+	+	+	+	+	+	+	....	+
H	Agrimonia odorata	+	....	+	....	....	+	....	+	....	....	....	....
Ch	Rubus cæsius	+	+	4	+	....	+	+	+	+	+	+	+
Ch	Solanum Dulcamara	+	....	....	....	+	+	+	+	+	....	+	....
G	Mentha silvestris	....	....	+	+	2	....	....	....	+	....	....	....
H	Eupatorium cannabinum	+	+	+	+	+	+	+	+	....	....	+	....
P	Salix alba	....	+	....	....	....	+	....	....	....	+	+	....
P	— purpurea	+	+	+	....	+	....	....	+	....	+	+	....
G	Aegopodium Podagraria	+	....	....	....	....	....	+	....	....	+	....	....
	b) *Constantes*												
P	Fraxinus excelsior	+	+	+	+	+	+	+	+	....	+	....	+
H	Brachypodium silvaticum	+	1—4	1—8	+	+	+	+	+	....	+	+	+
H	Geranium Robertianum	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	....	....
P	Corylus Avellana	+	....	+	+	+	+	+	+	....	+	+	+
H	Lactuca muralis	+	....	+	+	+	+	....	....	....	+	+	....
H	Urtica dioica	+	+	....	+	+	+	+	+	....	+	+	....
H	Angelica silvestris	....	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	....

H	Galium Mollugo *var.*	+	+	+	....	+	....	+	+	+	+	....	....
P	Cornus sanguinea	+	+	+	....	....	+	+	+	....	+	....	+
P	Salix Caprea	+	....	+	....	+	+	....	+	....	....	+	....
P	Lonicera Xylosteum	....	....	+	+	+	+	+	+	....	+	+	+
P	Clematis Vitalba	....	+	....	+	+	....	+	+	....	+	+	+
H	Scrophularia nodosa	....	+	+	+	....	+	+	+	+	+	....	....
H	Aquilegia vulgaris	+	+	+	....	....	....	....	....	....	....	+	....
H	Geum urbanum	....	+	+	+	....	+	+	+	+	....	....	+
T	Alliaria officinalis	+	+	+	....	....	....	+	....	....	+	....	....
H	Saponaria officinalis	+	+	+	....	....	....	....	....	....	+	....	....
H	Ranunculus repens	+	....	....	+	+	....	....	+	+	....	....	....
H	Anthriscus silvestris	+	+	....	+	....	....	....	....	....	....	+	+
H	Fragaria vesca	+	....	....	+	+	....	+	+	+	....	....	+
H	Poa nemoralis	....	....	+	+	+	....	....	....	....	+	+	....
	c) *Espèces accessoires principales*												
P	Evonymus europæus	....	+	+	....	....	+	+	+	....	+	+	....
P	Ligustrum vulgare	....	+	+	....	....	....	+	....	....	+	+	+
H	Humulus Lupulus	+	+	....	....	....	+	+	....	....	+	+	+
H	Valeriana officinalis	....	....	+	....	+	....	....	+	....	....	....	....
H	Rubus Idæus	....	....	....	+	+	+	....	....	....	....	....	....
P	Daphne Mezereum	....	....	....	+	+	....	....	....	....	+	+	....
H	Senecio Fuchsii	....	....	....	+	+	....	....	....	....	....	....	+
H	Stellaria nemorum	....	....	....	+	+	+	....	....	+	+	....	....
H	Lamium maculatum	....	....	....	+	+	....	+	....	....	+	....	....
H	Epilobium montanum	....	....	....	+	+	+	....	+	+	+	....	....
H	Rumex obtusifolius	+	+	....	....	....	+	....	+	....	....	....	....
H	Viola silvatica	+	....	....	+	....	+	....	....	+	+	....	+
H	Vicia sepium	....	....	+	+	....	....	+	....	+	....	+	....
H	Spiræa Ulmaria	....	....	....	+	....	+	....	+	+	+	....	....
H	Lysimachia vulgaris	....	+	....	....	....	+	....	....	....	....	+	....
G	Listera ovata	+	....	....	....	....	+	+	+	+	+	+	....
G	Circæa lutetiana	+	....	....	....	....	+	+	....	....	+	....	....
G	Prenanthes purpurea	....	....	....	....	+	....	....	....	....	....	+	....
H	Geranium nodosum	....	....	2—3	....	....	....	....	....	....	....	....	+
H	Deschampsia cæspitosa	....	....	....	+	....	+	+	....	+	+	+	....
H	Carex remota	....	....	....	....	....	+	....	+	....	....	+	....

Le tableau et la liste donnent un aperçu assez complet de l'ensemble floristique de l'aulnaie, telle qu'elle se présente dans l'Europe tempérée.

L'aulnaie nous fournit l'exemple d'une association dont l'arbre dominant peut appartenir à *deux espèces* bien distinctes. La composition floristique de cette association et par conséquent son écologie est la même dans la futaie d'*Alnus glutinosa* et celle d'*Alnus incana*. Deux espèces seulement, les *Thalictrum aquilegifolium*, et *Salix nigricans*, toutes deux très constantes dans les peuplements d'*Alnus incana*, ne nous sont pas connues des peuplements d'*Alnus glutinosa;* ce qui s'explique d'ailleurs par leur répartition géographique.

Il paraît donc logique de considérer l'*Alnetum glutinosi*, et l'*Alnetum incani* de l'Europe tempérée comme simples races géographiques d'une même association; la première occupant les plaines, la seconde les montagnes (Alpes, Jura, Carpathes, etc.) et le Nord. Cette dernière race renferme souvent des espèces montagnardes descendues avec les fleuves *(Salix daphnoides, Aconitum Napellus, Viola biflora*, etc.).

L'écologie particulière des deux aulnes quoique très semblable, n'est pas identique. L'aulne blanchâtre est moins étroitement liée à l'eau que son congénère; il supporte mieux un sol sec pendant une partie de l'année et rend par conséquent d'excellents services pour le reboisement des cônes de déjection, des alluvions modernes, etc., où l'aulne glutineux souffrirait du manque d'eau. Des essais d'introduction d'*Alnus incana* dans les Cévennes entrepris par M. Flahault ont donné de bons résultats.

Le nombre très élevé d'éléments accidentels dans les relevés de l'aulnaie des Cévennes est le témoignage du développement inégal de l'association. Les grandes crues de nos rivières qui bouleversent de temps en temps la végétation riveraine, sont un obstacle sérieux à son épanouissement normal.

Voici le spectre biologique de l'aulnaie :

14 Phanérophytes.
2 Chaméphytes.
34 Hémicryptophytes.
5 Géophytes.
1 Thérophyte.

Comme dans la hêtraie, les Chaméphytes et les Thérophytes font à peu près défaut, tandis que les Phanérophytes prennent une grande extension, grâce à l'espace libre entre les aulnes, grâce aussi à la lumière traversant le feuillage. Le nombre des Hémicryptophytes est plus fort, celui des Géophytes plus faible que dans la hêtraie. Malgré ces divergences à l'égard des formes biologiques, les affinités floristiques entre ces deux associations sont plus étroites qu'entre la hêtraie et la pineraie dont le spectre biologique diffère moins. Parmi les constantes et accessoires de l'aulnaie, on remarque bon nombre de caractéristiques et de constantes de la hêtraie comme :

Geranium Robertianum	*Poa nemoralis*
Lactuca muralis	*Lamium maculatum*
Stellaria nemorum	*Prenanthes purpurea*
Paris quadrifolia	*Galeobdolon luteum*

La physionomie et l'écologie classent l'aulnaie parmi les forêts méso-hygrophiles. Dans les Cévennes, aucun végétal à feuilles persistantes ne s'y rencontre ; aucune des manifestations si fréquentes de xérophilie. Les arbres sont tropophiles, les herbes méso-et hygrophiles. Leurs organes assimilateurs et transpiratoires se déploient largement et sont généralement glabres, conséquence de la station humide et ombragée. Les lianes absentes dans la hêtraie, sont représentées ici par *Clematis Vitalba, Humulus Lupulus, Bryonia dioica* et *Tamus* (rare).

La question de l'évolution (de l'ontogenèse), de l'aulnaie doit être examinée surtout le long des grands fleuves où l'association est le mieux développée.

Sur la bordure alluviale du Rhin et du Rhône une succession très fréquente débute par les saules qui, les premiers, occupent les îlots portant une couche de sable *(Salix alba, incana, triandra, purpurea)*. D'après des observations faites aux bords du Rhône près du pont de Viviers [1] viennent peu après : *Phalaris arundinacea, Festuca arundinacea, Tussilago Farfara, Equise-*

[1]) En compagnie de mon collègue et ami M. G. de Bannes-Puygiron qui prépare un travail phytogéographique sur la contrée de Montélimar et le Bas Dauphiné méridional.

tum arvense. Les saules grandissent et *Populus alba, Alnus glutinosa, Rhamnus Frangula, Cornus sanguinea* commencent à s'installer. Avec eux apparaissent *Angelica silvestris, Rubus cæsius, Humulus Lupulus, Solanum Dulcamara, Solidago glabra, Eupatorium cannabinum, Lycopus europæus* et peu à peu la plupart des espèces du cortège habituel de l'aulnaie.

M. Siegrist (l. c. 1913) qui a étudié de près les modifications et transformations de la végétation sur les alluvions de l'Aar en Suisse, distingue plusieurs séries de successions aboutissant toutes au stade final de l'aulnaie.

(A suivre).

COMPTE RENDU DE LA SÉANCE

DE LA

SOCIÉTÉ SUISSE DE PHYSIQUE

tenue à Lausanne le 1er mai 1915

Président : M. le prof. C.-E. Guye (Genève).
Secrétaire : M. le prof. H. Veillon (Bâle).

Partie administrative. — C.-E. Guye. Les équations de conditions des courants dérivés semblables et leurs applications. — Ed. Guillaume. La théorie des probabilités et la physique. — F. Chappuis. Détermination de la dilatation du mercure par la méthode absolue. — H. Zickendraht. Courbes d'accouplement pour différentes longueurs d'étincelles. — Aug. Hagenbach. Une nouvelle loi de dispersion rotatoire des séries homologues. — H. Veillon. Un ondomètre de construction simple. — A. Piccard et O. Bonazzi. Une mesure de la susceptibilité des gaz diamagnétiques. — A. Piccard et A. Carrard. *a)* Calorimètre adiabatique. *b)* Calorimètrie des ferro-magnétiques. — A. Jaquerod. Manipulation pouvant contribuer à illustrer un cours de physique mathématique. — Edouard Mack. Sur le rôle de la diffusion dans la formation des corps endothermiques aux températures élevées. — Paul-L. Mercanton. Un nouveau néphéloscope à miroir.

Partie administrative

Cette année aura lieu à Genève la fête du centenaire de la fondation de la Société helvétique des Sciences naturelles. En raison de cette solennité, il est décidé, sur la proposition de M. de Kowalski, de confier la présidence de notre société à un de nos membres genevois. Les suffrages unanimes tombent sur M. Ch.-E. Guye qui, après acceptation, entre immédiatement en fonction. M. A. Hagenbach accepte une réélection comme vice-président pour une nouvelle période de deux ans, et M. H. Veillon comme secrétaire-trésorier. Sont enfin élus comme vérificateurs des comptes : MM. P. Gruner et P. Mercanton. La société compte au moment de l'ouverture de la séance 97 membres.

Le trésorier annonce que le bilan de la caisse se solde par un actif de 577 fr. 91. Sur la proposition des vérificateurs des comptes, décharge lui est donnée.

Il est déposé sur le bureau de la société deux volumes de la publication internationale des constantes numériques. Il est décidé que le Comité sera autorisé à faire des démarches auprès de M. P. Chappuis pour qu'il accepte de faire partie, en qualité de représentant de notre société, du comité international dirigeant les travaux de cette publication.

Communications scientifiques

Prof. C.-E. Guye (Genève). — *Les équation de conditions des courants dérivés semblables et leurs applications.*

Le problème que s'est posé M. Guye est le suivant :

Soit un système de n conducteurs disposés en dérivation ; quelles relations doivent exister entre les résistances (R_1), les coefficients de self-induction (L) et les coefficients d'induction mutuelle (M) de ces conducteurs, pour que tous ces courants soient *semblables*, c'est-à-dire que leurs intensités soient les images réduites ou amplifiées les unes des autres, en d'autres mots que l'on ait à chaque instant

$$i_2 = K_2 i_1 \quad , \quad i_3 = K_3 i_1 \ldots i^n = K_n i_1 \ ,$$

K_2, K_3, ..., K_n étant des constantes ?

La résolution de ce problème peut présenter quelque intérêt ; elle permet en effet d'effectuer des mesures sur un courant dérivé de faible intensité, alors que les mesures directes sur le courant principal de grande intensité seraient difficiles à exécuter et qu'il serait malaisé d'intercaler dans le circuit de ce courant des appareils de mesure.

Considérons le cas de courants dérivés semblables qui soient à chaque instant inversement proportionnels aux résistances des dérivations, comme cela aurait lieu si ces conducteurs n'étaient le siège d'aucun phénomène d'induction.

Les équations de condition cherchées peuvent alors être facilement obtenues en introduisant dans les équations générales de Kirchhoff, relatives aux courants dérivés, les valeurs

$$i_2 = \frac{R_1}{R_2} i_1 \quad , \quad i_3 = \frac{R_1}{R_3} i_1 \quad \ldots \quad i_n = \frac{R_1}{R_n} i,$$

$$\frac{di_2}{dt} = \frac{R_1}{R_2}\frac{di_1}{dt} \ , \quad \frac{di_3}{dt} = \frac{R_1}{R_3}\frac{di_1}{dt} \ \ldots \ \frac{di_n}{dt} = \frac{R_1}{R_n}\frac{di_1}{dt} \ .$$

En égalant les coefficients de i_1 et de $\frac{di_1}{dt}$ après cette substitution, on obtient des relations de la forme

$$L_1 + M_{1.2}\frac{R_1}{R_2} + \ldots M_{1.n}\frac{R_1}{R_n} = L_2\frac{R_1}{R_2} + M_{1.2} + \ldots M_{2.n}\frac{R_1}{R_n} \ .$$

. . . . . .

Ces relations constituent les équations de condition des courants dérivés semblables. Elles sont générales, avec cette restriction que les diverses valeurs des coefficients d'induction ne peuvent être quelconques et doivent satisfaire à la condition bien connue

$$L_m L_n \geq M^2_{m.n}$$

pour tous les conducteurs considérés deux à deux.

En outre, elles ne sont applicables que si les résistances et les coefficients d'induction peuvent être considérés comme constants et pratiquement indépendants de la vitesse de variation des courants; en d'autres mots si l'on peut négliger les phénomènes d'inégale répartition du courant dans la section des conducteurs (1).

En se bornant au cas, pratiquement le plus intéressant, de deux conducteurs dérivés, l'équation de condition devient

$$R_2 = R_1 \frac{L_2 - M}{L_1 - M} \quad . \qquad \text{(I)}$$

Appliquée à des *conducteurs dérivés parallèles dont le rayon de courbure est grand par rapport à la dimension transversale de leur section et de leur distance réciproque,* l'équation (I) devient

$$R_2 = R_1 \frac{\log e \dfrac{A_{1.2}}{A_2}}{\log e \dfrac{A_{1.2}}{A_1}} \quad , \qquad \text{(II)}$$

dans laquelle $A_{1.2}$, A_1 et A_2 désignent les moyennes distances géométriques des éléments des sections des conducteurs (2).

1) A ce propos, les formules données par A. Potier pour les valeurs de R et de L en fonction de la fréquence, dans le cas des conducteurs de section circulaire, permettent de se rendre compte, dans ce cas particulièrement défavorable, de l'ordre de grandeur des perturbations apportées et même d'en tenir compte dans une certaine mesure (Maxwell, *Traité d'Electricité,* t. II, p. 376).

2) La moyenne distance géométrique $A_{1.2}$ est définie par l'expression

$$S_1 S_2 \log A_{1.2} = \iint \log r . dS_1 \, dS_2 \; ;$$

S_1 et S_2 étant les sections des conducteurs dérivés en présence, r la distance de deux éléments dS_1 et dS_2.

La moyenne distance géométrique A_1 est pareillement définie par l'expression

$$S^2_1 \log A_1 = \iint \log r . dS'_1 . dS''_1 \; .$$

De même, l'expression

$$S^2_2 \log A_2 = \iint \log r \, dS'_2 \, dS''_2$$

définit la moyenne distance géométrique A_2.

M. Guye insiste tout particulièrement sur le cas où le conducteur principal est constitué par un *ruban mince* et le conducteur dérivé par *un fil parallèle à section circulaire*. L'étude de l'expression (II) montre alors que l'on peut obtenir des courants dérivés semblables pour des valeurs données de R_2 et de R_1, en plaçant les deux conducteurs à une distance convenable l'un de l'autre. L'expression (II) doit naturellement être modifiée si le conducteur dérivé renferme en outre un appareil présentant une résistance et une self-induction additionnelles.

M. Guye se propose d'exposer cette question plus complètement dans un mémoire ultérieur.

Ed. Guillaume (Berne). — *La Théorie des Probabilités et la Physique.*

L'auteur commence par rappeler les notions de *probabilité objective*, de *brassage parfait* et de *probabilité subjective* qu'il a introduites dans la Théorie des Probabilités [1]. Il établit [2] ensuite les formules du brassage parfait d'un ensemble de n points situés à l'intérieur d'un domaine $\mathfrak{D}_r$ de l'hyperespace à r dimensions, c'est-à-dire dont un point a sa position définie par r paramètres $x_1, \ldots, x_r$. Il montre [3] comment on peut appliquer ces formules aux systèmes physiques et *fonder toute la Thermodynamique sur la seule notion de* COMPLICATION INFINIE, *précisée par celle de brassage parfait*. Les résultats sont généraux et conviennent à des systèmes physiques quelconques, mécaniques, rayonnants, etc., définis par un *nombre immense* de paramètres $x_1, \ldots, x_r$ variant d'une façon continue ou non. La Thermodynamique se présente ainsi comme *l'étude des propriétés d'ensemble des systèmes très complexes quels qu'ils soient*, d'où la généralité de cette science. Mais le *caractère limite* des notions de complication infinie et de brassage parfait montre que la Thermodynamique ne convient rigoureusement qu'à des *systèmes limites*, et que le Premier et le Second Principe ne sont eux-mêmes que des *lois statistiques limites* ne pouvant s'appliquer qu'avec une certaine *approximation* aux systèmes réels.

La démonstration de l'auteur, trop longue pour être résumée ici, diffère essentiellement des considérations introduites par Boltzmann, Planck, etc., et reposant sur une erreur de calcul. Ces

[1]) Voir *Archives*, 1914, t. XXXVIII, p. 373 et 1915, t. XXXIX, p. 83, Communications de la Société suisse de Physique.

[2]) *Ibid.*, 1915, t. XXXIX, p. 205.

[3]) *Ibid.*, 1915, t. XXXIX, p. 302.

auteurs se servent, en effet, de la formule de Stirling :

$$\lim_{n=\infty} \frac{n!}{n^{\frac{1}{2}+n} e^{-n} \sqrt{2\pi}} = 1 ,$$

dans laquelle ils suppriment l'exposant $\frac{1}{2}$ devant n, sous prétexte que n est très grand. Or, avec cette simplification, on a évidemment :

$$\lim_{n=\infty} \frac{n!}{n^n e^{-n} \sqrt{2\pi}} = \infty ,$$

ce qui démontre l'impossibilité de l'emploi d'une telle formule pour remplacer, dans un calcul où n est très grand, le numérateur $n!$ par l'expression du dénominateur.

F. Chappuis. — *Détermination de la dilatation du mercure par la méthode absolue.*

Lors de notre dernière réunion à Bâle, je vous ai entretenu des résultats de MM. Callendar et Moss qui ont appliqué à la mesure de la dilatation du mercure une modification très ingénieuse de la méthode absolue utilisée par Regnault dans des expériences classiques. Comme les savants anglais l'ont remarqué, leurs résultats s'écartent sensiblement des valeurs obtenues par moi-même en 1890 par l'application du thermomètre à poids. Après avoir vainement cherché la cause de ces divergences, je me suis décidé à entreprendre une nouvelle mesure de la dilatation du mercure par l'application de la méthode même inaugurée par MM. Callendar et Moss. J'eus le plaisir de montrer à ceux d'entre vous qui visitèrent mon laboratoire l'appareil construit, à cette fin, par la Société Genevoise. Permettez-moi d'en rappeler, en quelques, mots la disposition.

Au lieu des deux colonnes de Regnault, l'une froide, l'autre chaude, se faisant équilibre par l'intermédiaire de tubes d'acier horizontaux remplis de mercure, j'ai mis en série, suivant le procédé de MM. Callendar et Moss, sept paires de colonnes semblables, reliées par des tubes horizontaux parfaitement remplis de mercure. Dans ces conditions, les effets s'ajoutent et la variation de niveau dans le manomètre dont les deux branches sont rattachées aux extrémités libres des tubes d'acier se trouve multipliée par sept. Les sept colonnes chaudes sont réunies en un faisceau et maintenues dans un même bain, il en est de même des colonnes froides. Comme il est difficile d'obtenir une uniformité suffisante de température dans un bain de grande hauteur, j'ai limité la

hauteur des colonnes à 1 m. et les ai placées dans des cuves de 4 1/2 cm² de section et de 126 cm. de hauteur.

La sensibilité de ce dispositif est environ cinq fois plus grande que celle de l'appareil de Regnault, c'est-à-dire qu'une différence de température de 100° entre les colonnes froides et les colonnes chaudes correspond à une différence de niveau de 128 mm. environ. Dans mon premier appareil, les tubes d'acier verticaux avaient un diamètre intérieur de 2 mm. et étaient reliés entre eux par des tubes horizontaux de 1 mm., comme ceux employés par MM. Callendar et Moss. J'ai fait une série complète d'observations avec ce système de tubes, mais j'ai constaté que les observations étaient rendues incertaines par la lenteur de l'établissement de l'équilibre. Dans ces conditions, il fallait 12 à 14 minutes pour faire disparaître l'effet d'une perturbation dans le niveau du mercure.

J'ai donc fait construire un nouveau système de tubes dans lequel le diamètre des tubes horizontaux a été porté à $1^{mm},4$, ce qui double leur section. L'équilibre s'établissait alors en 4 minutes. On ne saurait d'ailleurs augmenter beaucoup le diamètre des tubes horizontaux sans nuire à la précision de la définition de la hauteur des colonnes, représentée par la différence de niveau des axes des tubes horizontaux. Les tubes émergents de chaque cuve sont soigneusement réglés dans des plans horizontaux. On assure en particulier l'horizontalité des tubes de la cuve chaude dans toute la partie voisine de la cuve dont la température varie rapidement. A leur sortie, ces tubes traversent la plaque de fermeture dans laquelle ils sont soudés à l'étain, une lame d'air de 5 cm., une deuxième lame de laiton munie de vis de réglage et enfin un bloc de cuivre rouge, refroidi par un courant d'eau qui ramène leur température à celle de la salle. A partir de ce bloc, toutes les petites variations de niveau des tubes sont sensiblement compensées.

Pour rendre pratique le remplissage de l'appareil, on a relié tous les tubes horizontaux inférieurs par des embranchements convenables, munis de robinets, à un réservoir rempli de mercure. Les tubes supérieurs sont également raccordés par des tubes de verre avec une pompe à mercure qui permet d'évacuer tout le système des tubes d'acier.

La détermination des variations du niveau du mercure dans les deux branches du manomètre constitue un des éléments essentiels de la mesure de la dilatation par la méthode absolue. J'ai fait construire à cet effet par la Société genevoise un manomètre qui présente quelques avantages sur les manomètres à tubes de verre. Il est constitué par deux canons parallèles, forés dans un bloc d'acier de 20 cm. de hauteur. Les faces latérales du bloc sont

planes et parallèles aux axes des canons. Les plus larges, parallèles aux tangentes aux deux canons, n'en sont distantes que de 2 mm. On a ouvert sur ces deux faces des fenêtres de 5 cm. de largeur et de 180 mm. de hauteur. A sa partie supérieure, le bloc d'acier présente un talon qui assure la rigidité de l'appareil. Les fenêtres sont fermées par des glaces de bonne qualité, collées sur les faces planes à l'aide d'un mastic à base de caoutchouc.

Pour mesurer le niveau du mercure, j'ai fait usage de la méthode qui consiste à observer à l'aide d'un microscope à micromètre une pointe fine, située à une très petite distance du mercure. En éclairant vivement le ménisque par derrière, on voit la pointe et son image se détacher en clair sur un fond noir. Les images obtenues dans ces conditions sont très bonnes et permettent d'obtenir une précision supérieure à celle que fournirait un manomètre dont les tubes de verre ne seraient pas travaillés optiquement. Le manomètre est relié aux extrémités des tubes d'acier par deux tubes de verre horizontaux de 1 m. environ de longueur, protégés contre le rayonnement des cuves par une enveloppe de bois.

Les cuves sont de section elliptique; les tubes d'acier occupent l'un des foyers, dans l'autre foyer on a placé une hélice animée d'un mouvement rapide, de manière à entretenir une circulation énergique de l'eau du bain. La cuve chaude peut être employée comme étuve à vapeur et chauffée par dessous par des brûleurs. Les deux cuves sont protégées extérieurement par une épaisse couche de feutre.

La difficulté principale que présentent les mesures est la détermination précise de la température des colonnes mercurielles. On observait la température de chaque cuve à l'aide de deux thermomètres à mercure dont les réservoirs étaient placés à 1/3 et à 2/3 de la hauteur des colonnes.

La cuve froide étant maintenue à 10° environ, on a porté successivement la cuve chaude à 100°, 75°, 60°, 50°, 36°, 25° et 0° en faisant un groupe d'au moins 4 mesures indépendantes à chacune de ces températures. Malgré les précautions prises, on n'est pas parvenu à réaliser une uniformité de température suffisante pour pouvoir garantir en chacun de ces points une précision de deux centièmes de degré, sauf à la température d'ébullition de l'eau dont la définition est parfaite et à laquelle on a fait un grand nombre de déterminations.

Les résultats des observations sont représentés par l'expression

$$1 + K(t) = 1 + 1{,}816\,288_4 \times 10^{-4}t + 8{,}596\,228_2 \times 10^{-9}t^2 \ .$$

Le tableau suivant permet de comparer les valeurs obtenues avec celles qui résultent des travaux antérieurs.

Valeurs de 1 + K(t)

t	Chappuis 1914	Callendar et Moss	Chappuis 1890	Chappuis 1914 — Callendar	Chappuis 1914 - Chappuis 1890
20	1,003 636	1,003 616	1,003 634	$+20.10^{-6}$	+ 2
40	1,007 279	1,007 244	1,007 270	+ 35	+ 9
60	1,010 929	1,010 884	1,010 916	+ 45	+ 13
80	1,014 585	1,014 537	1,014 576	+ 48	+ 9
100	1,018 249	1,018 255	1,018 255	+ 44	— 6

Les nouvelles mesures ne sont pas assez précises pour permettre de fixer le chiffre des millionièmes de la dilatation du mercure, ce qui est fort regrettable, vu le rôle important que joue le mercure dans la physique expérimentale.

La divergence très sensible entre les résultats de M. Callendar et les miens me parait aussi difficile à expliquer qu'à l'origine des nouvelles mesures. Je ne suis pas éloigné de croire que l'emploi des tubes horizontaux de 1 mm. de diamètre pourrait avoir empêché dans ses expériences la réalisation parfaite de l'équilibre, condition essentielle de l'application de la méthode absolue.

H. Zickendraht (Bâle). — *Courbes d'accouplement pour différentes longueurs d'étincelles.*

La puissance S d'un circuit oscillant de décrément δ, de capacité C et de résistance totale R, peut s'écrire approximativement :

$$S \cong \frac{p\xi n\pi^2 C^2 V_0^2}{\delta} R ,$$

où p désigne le nombre de décharges par seconde, ξ le nombre d'étincelles partielles par décharge, n la fréquence et V_0 le potentiel. La question de savoir si V_0 est constant pour des décharges se succédant rapidement, reste ouverte. Les quantités ξ, V_0, δ et R doivent varier avec la nature des électrodes et celle du gaz dans lequel se produit l'étincelle, de sorte que la puissance S dépend de la nature de l'éclateur. Lorsque sa longueur (dans notre cas égale à $0^{mm},12$) est très faible, l'étincelle est plus ou moins bien appropriée à l'excitation par chocs si la nature de la décharge est favorable à l'extinction. L'énergie d'un circuit oscillant, II, accouplé et accordé avec le premier, I, est une fonction du degré d'accouplement et des constantes du circuit fermé II. L'effet dans l'onde propre du circuit II est d'autant plus grand que l'excitation par chocs est meilleure.

Pour une onde de 356 m. ($n = 8,5 \cdot 10^5$) et un intervalle d'ac-

couplement de 8 % à 80 %, on a porté les effets du courant dans l'onde propre du circuit II, et obtenu ainsi des courbes d'accouplement semblables à celles que Rieger a obtenues en 1911 à l'aide d'étincelles entre plaques de cuivre. Il n'est pas possible, dans ce court résumé, d'entrer dans la discussion des résultats obtenus; ceux-ci seront publiés ailleurs. Les principaux points mis en évidence sont les suivants :

Pour juger de l'action du choc, il est nécessaire de tenir compte de la nature des décharges partielles (Cf. Rohmann, 1911).

Certains métaux, notamment l'aluminium, dans différents gaz, favorisent la formation de décharges partielles pauvres en auréoles.

Le magnésium qui a dans l'air une mauvaise action de choc, était dans les conditions choisies ici (éclateur à boules de $0^{mm},12$) un bon excitateur dans l'hydrogène avec un optimum d'accouplement d'environ 25 %, tandis que le zinc et le cuivre, dans les mêmes conditions, ne produisaient environ que le quart de l'effet.

Des boules de cuivre, de fer et de zinc donnaient dans l'hydrogène à la pression atmosphérique une décharge lente traversée seulement par un petit nombre d'étincelles partielles et ne produisant que peu d'effet dans l'onde de choc.

Le gaz d'éclairage favorise l'excitation par chocs avec tous les métaux. Les optima d'accouplement sont entre 35 % et 45 %.

L'auteur termine en exprimant ses remerciements au Département de l'Instruction publique de Bâle pour son précieux appui.

Aug. Hagenbach (Bâle). — *Une nouvelle loi de dispersion rotatoire des séries homologues* (1).

On a essayé récemment d'établir une relation entre la dispersion rotatoire et la constitution chimique des corps actifs. Particulièrement fructeuses semblent être, dans ce domaine, des recherches avec les séries homologues. M. le professeur Rupe et ses élèves ont effectué des mesures sur les dérivés du camphre méthylené, du menthol, du citronellal et du myrtenol, et il m'a prié de formuler, si possible par une expression analytique, la relation que donnent les courbes de dispersion. Je vais indiquer brièvement les résultats auxquels je suis parvenu.

Les corps ci-dessus — il y a 8 camphres méthylénés, 3 citronellals, 7 menthols et 11 myrtenols — ont tous une dispersion rotatoire normale, c'est-à-dire : la rotation augmente avec la longueur d'onde, et les courbes qui représentent la rotation spécifique $[\alpha]$ en fonction de la longueur d'onde λ, n'ont pas de points

(1) Ce travail paraît *in extenso* dans la *Phys. chem. Zeitschrift.*

d'inflexion. Une partie de ces corps ont été employés liquides, d'autres étaient en solution à 10 % dans du benzol, solvant indifférent qui ne changeait pas le caractère des dispersions. Les rotations correspondaient à 4 longueurs d'onde, à savoir :

$$\lambda = 656{,}3 \quad , \quad 589{,}3 \quad , \quad 546{,}3 \quad , \quad 481{,}1 \; .$$

Le résultat de mes recherches peut se résumer ainsi :

Pour une même série homologue, les courbes de dispersion ne diffèrent les unes des autres que par un seul facteur.

La dispersion rotatoire peut être représentée par :

$$\alpha_\lambda = \varphi(\lambda) \; ,$$

où α_λ représente la rotation pour la longueur d'onde λ, et φ une fonction inconnue à déterminer.

Si l'on désigne par α', α'', α''', ... les rotations de la première, deuxième, troisième, ... substance d'une série homologue, les courbes correspondantes sont représentées par :

$$\alpha' = C'\varphi(\lambda) \quad ; \quad \alpha'' = C''\varphi(\lambda) \quad ; \quad \alpha''' = C'''\varphi(\lambda) \; ; \; \ldots$$

où la fonction φ est la même pour toutes les relations et où C', C'', C''', ... sont des constantes. Nous pouvons choisir φ de façon que, par exemple, C' soit égal à l'unité. On a alors :

$$C'' = \frac{\alpha''}{\alpha'} \quad ; \quad C''' = \frac{\alpha'''}{\alpha'} \; ; \; \ldots$$

En d'autres termes : Si la dispersion d'un corps d'une série homologue a été déterminée, par exemple graphiquement, et si, pour une valeur quelconque de λ, la rotation d'un autre corps de la série a été mesurée, toute la courbe de dispersion de celui-ci est connue, car

$$C''\alpha' = \alpha''$$

quel que soit λ.

Nous appellerons les constantes C les *facteurs spécifiques*, et il est important de remarquer que ceux-ci nous fournissent une relation entre les courbes de dispersion d'une même série, sans qu'il soit nécessaire de connaître la fonction φ. Les facteurs spécifiques nous donnent donc ce qu'il y a de plus caractéristique, ce qui distingue les corps de la série les uns des autres : ils doivent être rattachés à la constitution chimique.

La fonction φ doit aussi attirer notre attention. Pour le quartz, on a d'abord utilisé l'équation de Stéfan :

$$\alpha = A + \frac{B}{\lambda^2} \; .$$

Mais Boltzmann a montré que les mesures de Soret et Sarasin sont mieux représentées par

$$\alpha = \frac{A}{\lambda^2} + \frac{B}{\lambda^4} \ .$$

L'équation de Drude :

$$\alpha = \frac{k_1}{\lambda^2 - \lambda_1^2} + \frac{k'}{\lambda^2}$$

nous intéréresse moins parce qu'elle contient 3 constantes, et que l'oscillation propre correspondant à λ_1 n'est pas connue.

Nous allons essayer d'appliquer les nombres trouvés aux équations ci-dessus.

Nous introduirons la fréquence ν au lieu de la longueur d'onde λ. La première équation s'écrit alors :

$$\alpha = A + B\nu^2$$

et représente une parabole. On voit si les nombres trouvés satisfont à cette équation, en portant α en fonction de ν^2; on doit obtenir une droite. J'ai vérifié l'équation de Boltzmann en portant $\frac{\alpha}{\nu^2}$ en fonction de ν^2, ce qui doit aussi donner une droite.

Les menthols et les myrtenols peuvent être presque exactement représentés par l'équation parabolique, tandis que les camphres méthylénés sont mieux représentés par l'équation de Boltzmann.

Les équations pour les camphres méthylénés, par exemple, peuvent s'écrire :

$$\alpha' = A' + B'\nu^2 \quad ; \quad \alpha'' = A'' + C''\nu^2 \quad ; \quad \alpha''' = A''' + B'''\nu^2 \ ; \ \ldots$$

D'après ce qu'on a vu, on doit avoir :

$$\alpha' = A' + B'\nu^2 \quad ; \quad \alpha'' = C''(A' + B'\nu^2) \quad ; \quad \alpha''' = C'''(A' + B'\nu^2) \ ; \ \ldots$$

d'où

$$C''A' = A'' \quad ; \quad C''B' = B'' \ ; \ \ldots$$

ou bien

$$C'' = \frac{\alpha''}{\alpha'} = \frac{A''}{A'} = \frac{B''}{B'} = \ \ldots$$

Ces relations sont valables également pour l'équation de Boltzmann.

On peut montrer, en outre, que dans le cas de l'équation parabolique, toutes les droites (α, ν^2) et, dans le cas de l'équation de Boltzmann, toutes les droites $\left(\frac{\alpha}{\nu^2}, \nu^2\right)$, convergent vers un même point de l'axe des ν^2.

Les relations

$$C'' = \frac{\alpha''}{\alpha'} = \frac{A''}{A'} = \frac{B''}{B'} = \ldots$$

ont été appliquées aux dérivés du camphre méthyléné et du menthol; elles ont donné des résultats satisfaisants. La convergence des droites (α, ν^2) est remarquablement bonne dans le cas des myrtenols. Nous ne pouvons reproduire ici les nombreux résultats numériques que nous avons obtenus.

Nous pouvons exprimer ce qui précède d'un point de vue un peu différent. On a :

$$C'' = \frac{\alpha''}{\alpha'} .$$

Prenons deux points sur une même courbe, α'_1 et α'_2, où $\alpha'_2 > \alpha_1'$; nous pouvons écrire :

$$\frac{\alpha''_2}{\alpha'_2} = \frac{\alpha''_1}{\alpha'_1}$$

ou bien

$$\frac{\alpha''_2}{\alpha''_1} = \frac{\alpha'_2}{\alpha'_1} = \text{const}$$

ou encore

$$\frac{\alpha''_2 - \alpha''_1}{\alpha''_1} = \frac{\alpha'_2 - \alpha'_1}{\alpha'_1} = \text{const} .$$

Posons :

$$\alpha'_2 - \alpha'_1 = \alpha'_a \quad ; \quad \alpha''_2 - \alpha''_1 = \alpha''_a ;$$

nous pouvons écrire :

$$\frac{\alpha''_a}{\alpha''_1} = \frac{\alpha'_a}{\alpha'_1} .$$

Désignons les fréquences correspondantes par les mêmes indices; nous voyons alors que, suivant l'hypothèse, comme ν''_1 correspond à α'' et ν'_1 à α'_1, et ainsi sont identiques, à α''_1 et α'_1 correspond la même quantité ν''_a qui est égale à ν'_a. Pratiquement, on peut exprimer la chose ainsi : Si l'on fait les mesures pour deux longueurs d'onde, par exemple λ_F et λ_C, et pour différents homologues, la quantité ν_a correspondant à $\lambda_F - \lambda_C = \lambda_a$, aura la même valeur pour tous les homologues. Ainsi, on peut désigner :

$$\lambda_a = \frac{1}{\nu_a} ,$$

comme la *longueur d'onde caractéristique*, et la calculer soit par une équation linéaire si c'est l'équation parabolique qui est

valable, soit par une équation du second degré si c'est l'équation de Boltzmann qui se trouve vérifiée.

La longueur d'onde caractéristique ou, ce qui revient au même, la distance du point de convergence des droites (α, ν_2) ou $\left(\frac{\alpha}{\nu_2}, \nu^2\right)$ sur l'axe des ν^2, sont caractéristiques pour chaque groupes ; elles changent d'un groupe à un autre.

Les lois ci-dessus peuvent aussi être établies en partant de la constance des coefficients de dispersion et de la dispersion totale; mais il faut remarquer que non seulement un coefficient, mais aussi tous les coefficients formés entre des rotations quelconques, doivent être constants.

J'ai essayé de voir si d'autres fonctions pourraient peut-être représenter les résultats obtenus avec une exactitude plus grande. Ainsi, par exemple, la fonction

$$\alpha = A + B\nu^n ,$$

où n est un nombre quelconque, irrationnel au besoin, et la fonction

$$\log \alpha = A + B\nu^n ,$$

n'ont pas donné de résultats meilleurs.

Enfin, remarquons pour terminer que l'équation

$$\alpha = C\, \varphi(\lambda)$$

a son analogue dans la tension de vapeur de séries homologues suivant Ramsay et Young; d'après cela, la température absolue d'ébullition est représentable par

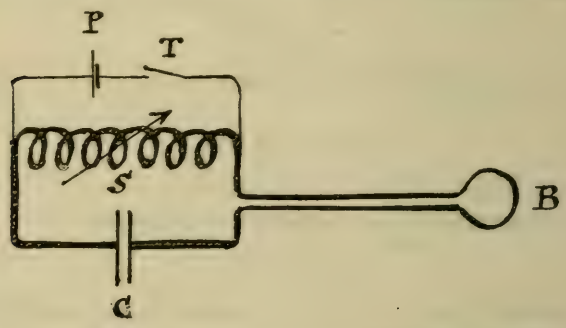
$$T = C\, f(p) ,$$

où C est une constante et f une fonction de la pression p. La question de savoir si cette équation est valable pour nos groupes chimiques reste encore ouverte.

Prof. H. Veillon (Bâle). — *Un ondomètre de construction simple.*

L'ondomètre est devenu un instrument indispensable de l'outillage des physiciens s'occupant de télégraphie sans fil. Les appareils de haute précision, tels que par exemple le grand ondomètre de la Telefunkengesellschaft, sont en raison de leur prix hors de la portée de beaucoup d'expérimentateurs. Nous nous sommes en conséquence proposé de composer avec les moyens ordinaires d'un laboratoire un instrument pouvant donner dans beaucoup de cas

des résultats fort satisfaisants. La figure ci-dessous fait voir le principe de la disposition. Un variomètre S et un condensateur C forment avec une bobine d'accouplement B un circuit oscillant fermé. Le variomètre se compose de deux enroulements sur cadres rectangulaires, l'un mobile dans l'autre, ce qui permet une variation continue de la self-induction, depuis une certaine valeur initiale jusqu'à une valeur environ 9 fois plus grande. Le condensateur est divisé en trois sections formant trois capacités invariables se trouvant à peu près dans le rapport 1 : 9 : 81 et un jeu de fiches permet d'introduire rapidement celle que l'on veut dans le circuit. Le diélectrique est du papier paraffiné. Le plus petit des trois condensateurs est réglé par tâtonnements de façon à donner avec la valeur minimale de la self du variomètre une longueur d'onde d'environ 280 mètres et un simple calcul permet de voir qu'en



employant successivement les trois capacités et en réglant convenablement le variomètre, on peut obtenir chaque longueur d'onde de 280 jusqu'à passé 7000 m. Ces limites comprennent tout ce qui est usité dans la pratique. L'excitation du circuit oscillant se fait par le procédé à la fois très simple et ingénieux imaginé par M. le Dr Eichhorn. Un trembleur T ordinaire à lame vibrante très courte ouvre et ferme le circuit de la pile P (un seul élément suffit) avec un son aigu et donne, comme l'a montré M. Eichhorn, une excitation par choc très parfaite.

L'étincelle de rupture au trembleur T doit être autant que possible atténuée. Cela s'obtient en ajoutant parallèlement à son électro-aimant une résistance convenable à enroulement bifilaire. Nous avons observé que lorsque par l'usage le contact en argent au trembleur s'est altéré, l'excitation par choc devient moins nette. Cela s'explique par le fait que l'étincelle de rupture tend à prendre le caractère de l'arc. Un léger nettoyage suffit pour rétablir immédiatement l'excitation par choc.

L'appareil que nous avons construit pour notre usage personnel

a été étalonné au moyen de notre grand ondomètre de la Telefunkengesellschaft.

A. Piccard (Zurich) et O. Bonazzi (Pise). — *Une mesure de la susceptibilité des gaz diamagnétiques.*

Ce travail est présenté par O. Bonazzi.

Les susceptibilités diamagnétiques sont toutes si petites que même avec des champs magnétiques très intenses, on n'arrive qu'à produire des forces mécaniques très faibles. En particulier les gaz avec leur faible densité présenteraient des difficultés probablement insurmontables si l'on voulait déterminer leur diamagnétisme avec une des méthodes dynamométriques usuelles.

On connaît la méthode d'ascension, inventée par Quincke pour la mesure du coefficient d'aimantation des *liquides* para- et diamagnétiques. Les forces magnétiques sont compensées par une colonne de liquide dont la hauteur doit être mesurée. Cette méthode a été tout juste employable pour l'étude des gaz *paramagnétiques*, mais elle aurait complètement échoué pour les gaz *diamagnétiques* où la hauteur de la colonne d'eau n'aurait été que de quelques millièmes de millimètres.

La méthode de mesure que nous présentons ici est, comme on va le voir, dérivée de celle de Quincke. Au lieu d'avoir un liquide et un gaz, nous avons deux gaz et nous mesurons la différence de susceptibilité de ces deux gaz de la manière suivante : Un tube circulaire ABCDA est situé dans un plan horizontal. Il est muni en A et C de robinets à trois voies au moyen desquels on remplit la branche ABC avec du H_2 par exemple et la branche ADC avec du CO_2. Si A et C sont exactement à la même hauteur, il ne se produira rien au moment où l'on ouvre A et C. Si, par contre, A n'est même légèrement plus élevé que C, nous aurons au moment de l'ouverture une circulation dans le sens CBA et vice-versa. Si nous avons un moyen de reconnaître les mouvements du gaz, nous arriverons rapidement à mettre A et C au même niveau. Produisons maintenant par un puissant électro-aimant un champ magnétique en A. Alors, au moment de l'ouverture, le gaz le plus diamagnétique, le CO_2 par exemple, sera repoussé et nous aurons de nouveau une circulation dans le sens CBA. Nous pouvons neutraliser cet effet en élevant le point C d'une hauteur convenable. Dans ce but, le robinet C est fixé à la place de la lunette sur un petit cathétomètre qui permet la lecture des millièmes de millimètre. Connaissant le champ magnétique et la différence de hauteur des deux positions de C, nous pouvons en déduire la différence de susceptibilité des deux gaz. La susceptibilité (volumétrique) des gaz diamagnétiques étant dépendant de la tempé-

rature et de la pression, suivant la même loi que la densité, on voit qu'on n'a besoin de connaître ni la température, ni la pression du gaz. Il suffit que tout le système ait une température homogène.

La partie la plus délicate de tout l'appareil est l'organe qui permet de constater la circulation du gaz. Après plusieurs essais moins heureux, nous avons adopté le manomètre thermo-électrique de Guéritot [1] dont nous avons pu, par quelques modifications, augmenter la sensibilité de façon à rendre visible un déplacement de gaz de $0^{mm^3},03$. La limite de sensibilité correspond à 10^{-10} atmosphères.

L'appareil décrit ici a été construit au Laboratoire de Physique de l'Ecole Polytechnique fédérale. Comme on a vu, il ne permet que la mesure de différences de susceptibilité, mais il sera possible d'arriver avec le même appareil, par un petit détour, à déterminer aussi la susceptibilité elle-même de l'hydrogène.

A. Piccard et A. Carrard (Zurich). — *A. Calorimètre adiabatique.*

Ce travail est présenté par A. Carrard.

Nous avons décrit, à la réunion de la Société suisse de Physique, à Frauenfeld (9 septembre 1913), le calorimètre dont nous nous sommes servis pour nos premières mesures (A. Piccard, *Arch. des Sciences phys. et nat.*, 4e période, t. XXXVI, sept. 1913, p. 265-266).

Pour toute mesure où l'échange de température entre le corps calorimétré et l'eau du calorimètre dure un temps appréciable (1-5 minutes), la correction de convection (provenant de l'échange de calories entre le calorimètre proprement dit et l'enveloppe) atteint facilement quelques pour cent de la chaleur spécifique.

Le calorimètre « adiabatique » supprime totalement cet inconvénient. La méthode que nous avons choisie consiste à ajouter de l'eau bouillante à l'eau de l'enveloppe du calorimètre. Un plongeur suspendu à un contrepoids et mû par une commande automatique, assure le déversement d'eau chaude, créant l'élévation de température désirée. Un thermomètre électrique à résistance, basé sur le système du « Pont de Wheatstone », permet de déterminer la température de l'eau du calorimètre proprement dit. Le plongeur est relié mécaniquement avec le curseur de ce thermomètre. Par cette disposition, l'opérateur n'a qu'à suivre l'augmentation de la température du calorimètre et l'addition d'eau chaude se fait automatiquement et sans retard, ce qui est tout particulièrement important.

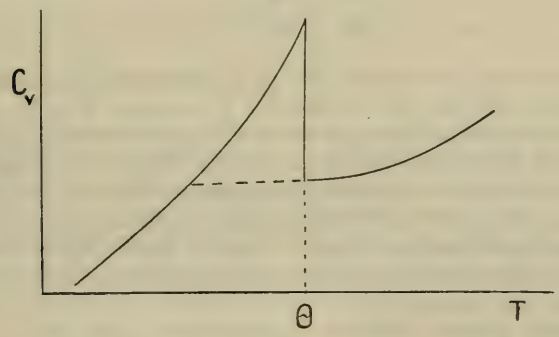
La mise au point de la compensation adiabatique est relative-

[1]) Guéritot, *C. R.* 1913, n° 26.

ment facile. Il suffisait dans notre cas de règler la température de l'eau extérieure à 0°,02 près, pour ne pas influencer le 10/1000 de la mesure. L'écart maximum d'une série de déterminations calorimétriques d'avec leur moyenne n'est que de 0,2 pour mille.

B. Calorimétrie des ferro-magnétiques.

La chaleur spécifique vraie des ferro-magnétiques présente une discontinuité, précisément à la température de perte du ferro-magnétisme. On peut calculer l'énergie de désaimantation des ferro-magnétiques et la soustraire de la courbe des chaleurs spécifiques vraies. On s'attendrait à ce que la courbe ainsi obtenue soit la prolongation, vers le bas, de la courbe des chaleurs spécifiques au dessus de la discontinuité. L'expérience nous a montré que ce n'est pas le cas. Cette prolongation coupe la courbe des chaleurs spécifiques en dessous de la discontinuité à 200° C. pour le nickel et 350° C. pour la magnétite.



La théorie de Weiss du champ moléculaire permet de calculer la grandeur de la discontinuité elle-même, elle devrait être :

$$\Delta Cv = 4{,}97 \cdot \frac{1}{m},$$

où m est la masse moléculaire possédant 5 degrés de liberté.

Nos mesures montrent que l'expérience se rapproche de la théorie avec une approximation de 1 % pour le nickel, de 5 % pour la magnétite et de 20 % pour le fer. Cet écart, et aussi que la considération précédente, démontrent que l'hypothèse du champ moléculaire aura besoin de subir encore certaines modifications.

Ce travail a été exécuté dans le laboratoire de physique de l'Ecole Polytechnique fédérale, sous la direction de M. le professeur Pierre Weiss. Une description détaillée de tout le travail paraîtra prochainement dans les *Archives*.

A. Jaquerod (Neuchâtel). — *Manipulation pouvant contribuer à illustrer un cours de physique mathématique.*

Cette manipulation permet de vérifier directement l'exactitude d'une équation aux dérivées partielles, particulièrement importante :

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0 \qquad \text{ou} \qquad \Delta V = 0 \ ,$$

c'est-à-dire l'équation de Laplace, que les étudiants rencontrent dans la théorie du potentiel, dans le cas de régime permanent en hydrodynamique, électricité, conduction calorifique, etc.

Cette équation s'applique sous une forme plus simple, par suppression d'une des variables, au cas d'un conducteur à deux dimensions — plaque plane par exemple — parcourue par un flux d'électricité constant. V étant alors le potentiel d'un point quelconque, de coordonnées x et y, on a :

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} = 0 \ . \tag{1}$$

Une méthode bien connue permet de déterminer les lignes équipotentielles définies par la relation V = const. Il suffit d'avoir deux pointes métalliques, reliées à un galvanomètre, dont l'une est fixe en un point de la plaque, et dont l'autre est promenée à sa surface de façon à trouver le lieu des points pour lesquels la déviation est nulle. Sur les graphiques obtenus, on vérifie les conditions aux limites, à savoir que les lignes équipotentielles coupent partout orthogonalement les bords de la plaque. Mais on peut aller plus loin :

Les deux pointes reliées au galvanomètre sont fixées solidement à un petit support isolant (deux aiguilles d'acier enfoncées dans une lame d'ébonite font l'affaire) de façon que leur distance — 5 à 6 mm. — reste constante. Cette distance a définit l'élément différentiel de longueur, dx ou dy. Plaçant les pointes en contact avec la plaque, parallèlement à l'axe de x par exemple, on obtient une déviation ϑ au galvanomètre. Le rapport $\frac{\delta}{a}$ mesure la dérivée partielle du potentiel $\frac{\partial V}{\partial x}$ dans une unité arbitraire pour le point situé au milieu de l'intervalle des pointes. On répète la mesure pour une série de points situés sur une même droite parallèle à l'axe des x, définie par la relation $y = c$.

Portant sur un graphique les résultats obtenus, la courbe représente $\frac{\partial V}{\partial x}$ en fonction de x pour $y = c$.

Le coefficient angulaire de la tangente à cette courbe, en chaque

point, représente la dérivée partielle seconde $\frac{\partial^2 V}{\partial x^2}$ que l'on porte sur un nouveau graphique en fonction de x — toujours pour la droite $y = c$.

On répète les mêmes mesures et on les traite de même façon pour d'autres droites parallèles à l'axe de x, $y = c'$, $y = c''$, etc. (y compris les bords de la plaque si ceux-ci sont rectilignes), puis pour des droites parallèles à l'axe des y : $x = b$, $x = b'$, $x = b''$, etc.

On possède alors une série de valeurs des dérivés secondes et l'on peut vérifier que l'équation (1) est bien satisfaite. Pour un point quelconque d'intersection des droites ci-dessus, par exemple pour le point $x = b'$, $y = c''$, on doit avoir

$$\left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2}\right)_{b', c''} = - \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2}\right)_{b', c''} .$$

L'étudiant remarquera qu'en un bord de la plaque parallèle à OX, par exemple, la dérivée première $\frac{\partial V}{\partial y}$ peut être nulle en chaque point, sans que la dérivée seconde $\frac{\partial^2 V}{\partial y^2}$ le soit.

Comme l'étudiant, au laboratoire, n'a guère l'occasion de vérifier que des conséquences souvent assez lointaines des équations dont il fait connaissance aux cours théoriques, il semble que la manipulation en question puisse présenter quelque intérêt didactique; d'autant plus que la notion de dérivée partielle, et particulièrement la signification physique de la dérivée partielle, ne laisse pas que d'être pour beaucoup assez mystérieuse.

Edouard Mack (Lausanne). — *Sur le rôle de la diffusion dans la formation des corps endothermiques aux températures élevées.*

L'auteur montre que c'est par voie de diffusion, uniquement, que certaines molécules, naissant seulement à des températures élevées et dont la durée d'existence moyenne est très courte, parviennent tout de même dans certains cas à une basse température où elles peuvent subsister en faux équilibre. La loi d'Einstein et Perrin sur le parcours moyen de la molécule explique le rôle capital de la pente de température dans la formation de corps tels que l'ozone, l'eau oxygénée, l'oxyde azotique, etc.

Ensuite l'auteur décrit un nouveau dispositif de chaud et froid qui réalise plus parfaitement que le classique tube chaud et froid de Henri Sainte-Claire Deville une répartition des températures analogue à celle de l'étincelle électrique.

Ce dispositif a permis de réaliser des synthèses nouvelles, en particulier la formation de l'ozone à partir de l'oxygène par voie purement thermique, que Sainte-Claire Deville avait prévue il y a cinquante ans, mais qu'on n'avait jamais pu démontrer jusqu'ici (l'expérience classique de Troost et Hautefeuille serait sans valeur démonstrative d'après Berthelot et d'autres auteurs).

Dans les *Archives* paraîtra prochainement un exposé de travaux expérimentaux exécutés d'abord à Paris et à Saint-Maur (Seine) en 1912, puis au Laboratoire de physique de l'Université de Lausanne, en 1915, au moyen de ce nouveau dispositif de chaud et froid.

Paul-L. Mercanton (Lausanne). — *Un nouveau néphéloscope à miroir.*

L'estimation de la nébulosité se fait, dans les observatoires météorologiques, en dixièmes couverts de la surface totale du ciel, à simple vue. Cette opération est assez malaisée, l'observateur ne pouvant embrasser d'un coup d'œil tout le ciel. L'équation personnelle prend en conséquence une importance vraiment trop grande. Il y aurait intérêt à donner à l'observateur une vue intégrale du ciel. L'idéal serait un dispositif périscopique, analogue à celui des sous-marins et permettant l'observation de l'intérieur même de l'observatoire. Nous ne savons pas qu'un tel dispositif ait été déjà appliqué. D'ailleurs on se contentera en général d'installer le néphéloscope dans le parc des instruments. Pour voir d'un seul coup d'œil tout le ciel, l'idée vient aussitôt d'employer un miroir convexe. Le point important est d'appliquer à celui-ci un mode de division assurant des évaluations équivalentes à celles faites à l'œil nu. On ne peut en effet se contenter, comme l'a fait Besson (1906) d'une division en parties sensiblement égales du miroir. La division doit au contraire être faite de telle façon que ses compartiments réfléchissent vers l'œil des surfaces égales du ciel. La position de l'œil doit par conséquent être fixée aussi par un dioptre (avantageusement muni d'un verre jaune).

D'autre part le ciel ne nous apparaît pas comme un hémisphère creux centré sur l'œil de l'observateur, mais comme une calotte sphérique de corde égale à environ sept fois sa flèche. Par conséquent, les parallèles horizontaux délimitant des surfaces célestes égales se resserrent du zénith vers l'horizon. Celui qui coupe la voûte céleste en deux moitiés ne s'élève qu'à environ 11° sur l'horizon. Seule la division du ciel en dix fuseaux zénithaux égaux serait indépendante de ce resserrement, mais outre qu'elle ne correspond pas à la pratique des observateurs, on s'exposerait, dans l'évaluation, à donner trop d'importance aux régions du ciel avoi-

sinant le zénith. J'ai préféré diviser la voûte céleste en cinq fuseaux zénithaux et deux moitiés circumzénithales, par cinq méridiens équidistants et le parallèle de 11°.

J'ai reporté cette division, catoptriquement, sur un miroir sphérique ayant $40^{cm},5$ de rayon de courbure, examiné verticalement d'une hauteur égale à $37^{cm},5$ au dessus de son ombilic. Le miroir est porté par un trépied à vis calantes. Le parallèle d'horizon, gravé aussi, permet la mise en station correcte.

Un miroir sphérique donne des régions du ciel voisines de l'horizon une image trop ramassée. Il devrait être remplacé par un miroir hyperbolique. Le coût démesurément élevé d'un tel miroir exclut cette solution dans la pratique.

Il va sans dire que l'observateur masque en partie l'image du ciel (1/5 environ) et qu'il doit faire deux observations en changeant de place.

L'appareil donne également, après orientation, la direction de marche des nuages voisins du zénith.

COMPTE RENDU DES SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ DE PHYSIQUE ET D'HISTOIRE NATURELLE

DE GENÈVE

Séance du 18 février 1915.

Amé Pictet. Un cas de catalyse par l'acide nitreux.
Arnold Pictet. Sur l'équilibre naturel entre les diverses espèces initiales.

M. le prof. Amé Pictet signale un *cas de catalyse par l'acide nitreux.*

Lorsqu'on introduit un fil de cuivre dans de l'acide acétique, absolu ou dilué, le métal n'est pas attaqué. Mais si l'on ajoute ensuite un cristal de nitrite de soude, l'attaque a lieu immédiatement : il se dégage de l'hydrogène et le liquide devient bleu par suite de la formation d'acétate (et non de nitrite) de cuivre.

Il en de même si l'on remplace l'acide acétique par les acides sulfurique ou chlorhydrique étendus, ainsi que par les acides oxalique ou citrique.

Parmi les autres métaux, le zinc et le fer se comportent de même vis-à-vis de l'acide acétique et du nitrite de soude. L'étain, le mercure et le plomb semblent réagir aussi, mais beaucoup moins vivement.

Ces recherches seront poursuivies et complétées.

M. Arnold Pictet. — *Sur l'équilibre naturel entre les diverses espèces animales.*

Les animaux sont continuellement en lutte, soit entre eux pour la recherche de la nourriture, ou contre les multiples facteurs du climat. Il en est résulté, entre les diverses espèces animales, un équilibre naturel, établi d'une part par la fécondité spécifique (F), qui elle-même est en rapport avec les difficultés plus ou moins

grandes qu'offre la vie des individus, et d'autre part par la destruction (D) et la survie (S). En sorte que nous avons l'équation : $S = F - D$.

Le facteur D se compose de plusieurs éléments dont le rôle varie suivant les espèces et dont les principaux sont les ennemis, les maladies, le climat et parfois l'homme.

Il résulte d'expériences que nous avons pratiquées chez les Insectes, et il y a tout lieu de croire qu'il en est de même pour les autres animaux, que S, calculé pour une génération ou bien pour un ensemble de générations, est constant pour une espèce donnée et que par conséquent D est constant également pour la même période.

Lorsqu'un des éléments de D augmente d'intensité, ce n'est pas au détriment de S, mais au détriment d'un autre élément de ce facteur D. Ainsi, supposons que l'homme, pendant une année, viendrait à détruire en masse les individus d'une certaine espèce, dans une localité ; cette destruction entraînerait-elle une diminution de la survie ? non pas, mais une diminution du nombre des individus restant à la disposition des ennemis, ces derniers devant chercher ailleurs leur complément de subsistance. S'il s'agit d'une espèce d'Insectes, les Oiseaux, par exemple, dont l'appétit est assez élastique, mangeraient dans ce cas un peu moins que d'habitude, ce qui permettrait à l'équilibre de se rétablir.

Pour démontrer la constance de S, nous devons envisager les deux cas qui peuvent se présenter, à savoir que l'espèce considérée augmente ou reste stationnaire en nombre d'individus d'une année à l'autre.

Etudions ces deux cas d'après les recherches que nous avons pratiquées chez les Insectes.

I. Le nombre des individus d'une espèce donnée n'augmente pas, d'une année à l'autre, dans une localité donnée.

Nous considérons une ponte de 500 œufs, chiffre que l'on peut admettre comme constituant une moyenne. Ces 500 œufs éclosent et donnent naissance à autant de petites larves qui vont se trouver aux prises avec les divers éléments du facteur D et dont un petit nombre seulement arrivera à l'état d'insecte parfait.

Puisqu'il n'y a pas d'augmentation du nombre des individus, cette ponte donnera forcément comme résultat, à la génération suivante, ce qui est nécessaire à la production de 500 œufs, c'est à dire à un mâle et une femelle ; en conséquence $D = 498$ (le 99.66 % de 500) et $S = 2$ (le 0.40 % de 500). Autrement dit l'équilibre se trouve établi par :

une destruction (ennemis, climat, maladies, etc.)	évaluée à	99.60 %
et une protection (mimétisme, homochromie, etc.)	» »	0.40 %
et contre-balancé par une ponte	» »	100.— %

L'équilibre est, de cette façon, rigoureusement établi, et nous voyons en outre que tous les faits que l'on a observés concernant la protection que les Insectes retirent de leur homochromie, de leur mimétisme, des attitudes avantageuses qu'ils prennent à l'état de repos et de leur aptitude à se dissimuler ou à se sauver, faits dont on ne peut nier l'exactitude, ne jouent qu'un rôle minime dans la survivance des individus ; mais si minime soit-il, ce rôle est indispensable puisqu'il concourt à la survivance du strict nécessaire au maintien de l'espèce.

Preuves expérimentales : 1. C'est un fait d'observation courante que lorsqu'on récolte en plein air une certaine quantité de larves adultes pour les élever ensuite en captivité, c'est à peine si l'on obtient deux ou trois imagos, tout le reste des larves ayant été parasité pendant leur vie à l'état libre ou mourant de maladies épidémiques contractées avant leur capture. (Observé maintes fois avec *Vanessa urticæ* et *io,* etc.)

2. Nous récoltons toutes les chenilles de *Pieris brassicæ* qui se trouvent sur un buisson de Navets isolé contre un mur ; il y en a 148, dont 137 donnent asile à des *Microgaster glomeratus,* dont 9 meurent de maladies et dont 2 seulement survivent pour devenir Papillon. Si l'on tient compte que ces chenilles, au moment de leur capture, n'ont effectué que le tiers de leur existence, nous voyons que dans ce cas, la survivance est égale, à peu de chose près, au 0.40 % du nombre des larves récoltées.

3. Dans une boîte d'élevage nous plaçons 130 chenilles de *Pieris brassicæ* au sortir de l'œuf, c'est à dire qu'elles peuvent être considérées comme indemnes de tout élément de destruction. Quelque temps après nous introduisons dans la boîte quelques couples de *Microgaster glomeratus;* les chenilles qui échappent au parasite et donnent naissance à leur Papillon sont également au nombre de 2, ce qui représente une proportion voisine de 0.40 %, en tenant compte de l'élimination des autres facteurs de destruction qui n'ont pas pu agir du fait de la captivité.

4. Lors de quelques-unes de nos expériences d'hybridation avec des *Ocneria dispar,* il s'est trouvé que 7 lots de chenilles, comprenant un ensemble de plus de 1100 individus, ont été en partie détruits par une épidémie de flacherie ; 5 chenilles seulement survécurent, ce qui représente encore une survie de 0.40 %.

5. Nous humectons deux boîtes d'élevage avec du sang de chenilles d'*Ocneria dispar* contaminées et nous introduisons dans ces deux éleveuses 1000 chenilles de *Vanessa urticæ;* la survivance de ces dernières est encore de 0.40 %, c'est à dire de 4 Papillons.

Ces expériences, et nous pourrions en signaler plusieurs encore, confirment ce qui vient d'être dit comme régissant l'équilibre des espèces dont le nombre des individus est constant d'une année à l'autre.

II. Le nombre des individus est variable d'une année à l'autre.

Une diminution de l'intensité du facteur D entraînera une augmentation corrélative du nombre des individus qui survivent. Mais cette augmentation n'est que passagère, avec rétablissement de l'équilibre au bout d'un nombre restreint de générations.

En effet, si D n'existait pas, on sait avec quelle prodigieuse progression numérique (à raison de 500 œufs par femelle et par génération) le nombre d'individus augmenterait [1]. Mais on peut imaginer que D soit légèrement inférieur à ce qu'il faut pour maintenir l'équilibre et qu'il laisse survivre, par exemple, sur 100 individus que nous supposons se trouver dans une localité, et pour chaque ponte, *une seule femelle* de plus qu'habituellement; mais alors, c'est d'emblée une augmentation de 50.000 individus au bout d'une année et le double ou le triple si l'espèce considérée est bi ou trivoltine ; et combien d'individus l'année suivante !

Nous voyons en conséquence qu'il suffit d'une survie dépassant le 0.40 % habituel seulement *d'une unité* pour rompre l'équilibre à l'avantage de l'espèce donnée dans une proportion telle, que celle-ci est matériellement impossible à maintenir.

Nous connaissons cependant des exemples d'augmentation rapide du nombre d'individus d'une espèce. Signalons l'*invasion* considérable de *Vanessa cardui* qui eut lieu en juin 1906 [2]. A la suite de ce vol immense qui dura 8 jours, il n'y eut pas un seul buisson d'Orties ou de Chardons dans la région avoisinant Genève et située entre le Salève et le Jura qui n'hébergea plusieurs chenilles de cette espèce; on en trouvait également dans les jardins potagers sur les Artichauts. On pouvait donc s'attendre à voir voler en automne des Papillons de *Vanessa cardui* en quantité inusitée. Or, tel ne fut pas le cas; en une génération, l'équilibre fut rétabli par le fait d'une augmentation corrélative du facteur D.

Nous pourrions signaler encore plusieurs invasions d'Insectes, dont les plus intenses ont été constatées en Suisse *(Gastropacha pini)* en 1889, 1892 et 1894 ; *(Pyrale du Mélèze)* en 1864, 1878 et 1900; en Bavière *(Psilura monacha)* en 1889 et 1892, etc., et qui toutes ont été régularisées *l'année suivante*, soit sous l'influence d'un été humide, soit par suite d'une recrudescence de certains parasites ou insectivores.

[1]) Une augmentation de cette importance s'est présentée lors de l'introduction par mégarde des *Ocneria dispar* et *Porthesia chrysorrhoea* aux Etats-Unis où n'existent pas les Ichneumons qui mettent un frein à la trop grande extension de ces Bombyx en Europe. Pour rétablir l'équilibre, le gouvernement de l'agriculture s'occupe d'introduire aux Etats-Unis les parasites de ces espèces.

[2]) Voir *Bull. Soc. lépidopt.*, Genève, vol. I., page 181.

Nous concluons en conséquence que pour les espèces dont le nombre des individus est variable d'une année à l'autre, D est constant pour une période comprenant un nombre restreint de générations.

Lorsque D arrive à équivaloir F, l'espèce disparaît de la localité ; mais les individus de cette espèce peuvent y revenir des localités avoisinantes. Pour qu'une espèce soit anéantie définitivement, il faut que D soit égal à F dans toutes les contrées où elle se trouve ; c'est ce qui s'est présenté maintes fois pendant les époques géologiques et c'est ce qui arrive encore de nos jours de temps à autre.

Séance du 4 mars

A. Bach. Les ferments oxydants et réducteurs de la levure.

A. Bach. — *Les ferments oxydants et réducteurs de la levure.*

M. A. Bach expose les résultats des expériences qu'il a instituées en vue d'élucider la question de savoir, si *la levure de bière contient de la peroxydase,* comme l'affirment dans un récent travail MM. Harden et Zilva.

On sait depuis Schönbein que la levure ne donne, avec les réactifs usuels, aucune des réactions de la peroxydase. Or ces auteurs ont trouvé que toutes les levures fraîches colorent un mélange de p-phénylènediamine et de peroxyde d'hydrogène en violet intense, réactions qu'ils attribuent à l'action de la peroxydase. Les levures rèches donnent la même réaction si on les lave préalablement à grande eau pour éliminer les substances inhibitrices qui se forment pendant la dessication. M. Bach a répété les expériences de Harden et Zilva et constaté ce qui suit :

1. La réaction trouvée par ces auteurs n'est pas due à la peroxydase, car des expériences de contrôle faites avec de la levure chauffée ont donné des résultats variables et qui sont incompatibles avec l'hypothèse de l'intervention d'un ferment. D'autre part, dans aucun cas on a pu obtenir, avec les levures examinées, une réaction de la peroxydase en employant comme réactifs le gaïacol, le pyrogallol ou l'hydroquinone.

2. La formation de la matière colorante violette dans l'oxydation de la p-phénylènediamine par le peroxyde d'hydrogène n'a lieu qu'*en présence d'un acide.* La quantité de matière colorante croît avec la concentration de l'acide jusqu'à un maximum qui correspond au rapport p-phénylènediamine : acide = 1 mol. : 0,5 mol. Au-dessus de cette limite, la matière colorante violette ne se forme plus.

3. La réaction observée par Harden et Zilva est attribuable non pas à la peroxydase soi-disant contenue dans la levure, mais exclusivement à l'acidité de celle-ci. Dans un mélange acidulé de p-phénylènediamine et de peroxyde d'hydrogène, la formation du colorant violet est accélérée tout autant par de la soie finement divisée que par de la levure.

4. Des extraits de levure sèche (hefanol, zymine) débarassés au moyen de l'entra-filtre de toute substance retardant l'action de la peroxydase, n'ont donné aucune des réactions de ce ferment. Si la peroxydase existait chez la levure, elle devrait se retrouver dans les extraits, étant très facilement soluble dans l'eau.

5. Des cultures pures de levures basses et de levures hautes n'ont donné aucune des réactions de la peroxydase ni à l'état frais, ni après dessication et lavage à grande eau.

BULLETIN SCIENTIFIQUE

PHYSIQUE DU GLOBE

G. Platania. — Su l'emanazione di anidride carbonica nel fianco orientale dell' Etna. *Memoria della R. Academia di Acireale.* 3ª Serie, Vol. VII. Acireale 1914. Publicazione N° 1, dell' Istituto di Geografia fisica e Vulcanologia della R. Università di Catania.

On vient de fonder à Catane (Sicile) une Société de Volcanologie dont le but est :

1. De recueillir les données et les notions sur les phénomènes volcaniques et sismiques de l'Etna, des volcans moindres de la Sicile et des petits volcans de boue, des pluies de cendres, de poussières éoliques, des émanations extraordinaires des sources, des émanations de gaz, etc.

2. De recueillir les photographies des phénomènes indiqués ci-dessus et des volcans en activité et même en repos.

3. De recueillir des échantillons de matières éruptives, etc., et des différentes roches que l'on rencontre occasionnellement dans les excavations de puits, galeries, etc.

4. De favoriser avec tous les moyens l'étude de l'Etna, des autres volcans de la Sicile et de la Volcanologie en général.

Dans cette première publication, M. Platania donne le récit de ses recherches et de ses constatations, faites sur le côté oriental de l'Etna, de l'existence d'eaux de source souvent chargées de carbonates et d'anhydride carbonique libre, il cite l'*eau ardente* de Zafferana et les eaux de St-Tecla qui en sont très riches. Mais ces émanations ne sont pas permanentes, ainsi, par exemple, à Biancavilla, ensuite de l'éruption de 1883, il se dégagea du sol de l'anhydride carbonique qui avait rendu inhabitables les grottes sous la lave, et si l'on faisait des excavations pour des fondations ou des puits, le gaz sortait en grande quantité, mais le phénomène ne dura pas longtemps. En 1911-12, après l'éruption du côté septentrional de l'Etna, l'émission d'anhydride carbonique crût énormément, les poulets et les chats moururent asphyxiés et

les rats disparurent des campagnes; même la végétation en avait souffert beaucoup, les propriétaires craignèrent de voir les champs transformés en terrain stérile. Les nombreuses constatations de l'auteur démontrent à l'évidence que le gaz se trouve largement diffusé dans le terrain.

Th. T.

CHIMIE

H. Becker et A. Bistrzycki. — Sur l'acide mercapto-diphényl-acétique ou thiobenzylique (*Ber. d. D. chem. Ges.*, t. 47 (1914), p. 3149-3155; 1er laboratoire de chimie de l'Université de Fribourg).

L'acide benzylique a été transformé par l'action de l'acide sulfurique sur son mélange avec de l'essence de moutarde phénylique, en présence d'acide acétique, en *thiocarbamate de l'acide N-phényl-S-benzhydryl-α-carbonique :*

$$C^6H^5 \cdot NH \cdot CO \cdot S(C \cdot (C^6H^5)_2CO^2H$$

Si l'on chauffe ce composé avec de la lessive de potasse à 1 %, pendant une demi-heure à l'ébullition, il se forme l'acide *thiobenzylique* :

$$(C^6H^5)_2C(SH)COOH$$

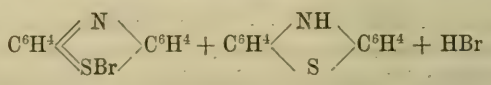
avec un rendement de 92 %. Cet acide est en feuillets microscopiques, f. à 147,5-149°, il élimine de l'acide carbonique lorsqu'on chauffe sa solution sulfurique et donne avec le perchlorure de fer et l'ammoniaque une réaction violette. En le traitant par le sulfate de méthyle, on obtient l'*éther méthylique de l'acide α-méthylthiobenzylique,* prismes incolores f. à 66,5-67°,5. Enfin, en faisant réagir le perchlorure de fer sur la solution acétique de l'acide thiobenzylique, sous certaines conditions indiquées par les auteurs, on obtient le *disulfure de l'acide dibenzhyryl-α-α'-dicarbonique* :

$$HO^2C \cdot C(C^6H^5)_2S \cdot S \cdot (C^6H^5)_2C \cdot CO^2H$$

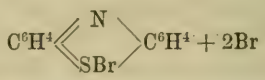
prismes microscopiques f. à 174°, avec dégagement gazeux. Les solutions de cet acide dans l'alcool ou dans l'acétone se colorent en bleuâtre par une ébullition très prolongée, en se décomposant. L'*éther diméthylique* de cet acide est en prismes hexagonaux, f. à 130,5-131,5°, il donne avec l'acide sulfurique concentré une coloration rouge.

F. Kehrmann et L. Diserens. — Contribution a la connaissance des sels de phenazthionium (*Ber. der D. chem. Ges.*, t. 48 (1915), p. 318 à 328; laboratoire de chimie organique de l'Université de Lausanne).

Les auteurs ont étudié les sels de phenazthionium dans le but d'éliminer certaines divergences qui existent entre les résultats des anciennes recherches de l'un d'eux et des recherches plus récentes de Pummerer et Gassner. Ils ont, dans ce but, examiné l'action de Br sur le thiodiphénylamine qui leur a fourni, suivant les conditions, un *bromure semi-quinoïdique de phénazthionium*



ou un *perbromure holoquinoïdique de phénazthionium*



puis l'action de l'iode, celle de l'acide perchlorique sur le sulfoxyde de thiodiphénylamine (perchlorate holoquinoïdique et perchlorate meri-quinoïdique de phenazthionium); ils ont examiné enfin les picrates semiquinoïdiques et holoquinoïdiques, les sulfates et les nitrates de phenazthionium. En partant du sulfoxyde de diméthyl-3-6-thiodiphénylamine, ils ont encore préparé un *perchlorate holoquinoïdique de dimétyl-3-6-phenazthionium.*

LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

des Travaux de Chimie faits en Suisse

1914

Décembre

265. Agthe (Karl). Die Funktionen des Wassers in komplexen Verbindungen. *Dissert.* Zürich (Prof. Werner).

266. Altstock (Hugo). Zur Kentniss der chemischen Untersuchung des Pfeffers und des Zimmtes. *Dissert.* Lausanne (Prof. Seiler).

267. Amadian (Karékine). Nouveau procédé de dosage des chlorures dans le sang et dans l'urine. *Thèse.* Lausanne (Prof. Dutoit).

268. Baragiola (W. J.) und Godet (Ch.). Chemisch-analytische Untersuchungen über das Reifen von Trauben und über die Entwicklung des daraus gewonnenen Weines. Wädenswil. Chem. Abt. der schweiz. Versuchsanstalt. — *Landw. Jahrb.* **47.** 249.

269. Battelli (F.) und Stern (L.). Einfluss der mechanischen Zerstörung der Zellstruktur auf die verschiedenen Oxydationsprozesse der Tiergewebe. Genf. Physiol. Inst. der Univ. — *Biochem. Zeitschr.* **67.** 443.

270. Becker (H.) und Bistrzycki (A.). Ueber die α-Mercaptodiphenyl-essigsäure oder Thio-benzilsäure. Freiburg. I. Chem. Lab. der Univ. — *Berichte* **47.** 3149.

271. Bregman (Ioudel). Dissociation électrolytique des solutions saturées de quelques sels dans divers dissolvants. *Thèse.* Lausanne (Prof. Dutoit).

272. Brodrick-Pittard (N. A.). Zur Methodik der Lecithinbestimmung in Milch. Liebefeld-Bern. Schweiz. milchwirtschaftl. Anstalt. — *Biochem. Zeitschr.* **67.** 382.

273. Bürgi (Emil). Die Wirkung der Arzneigemische. Bern.

274. Coert (Johan H.). Beziehungen zwischen Lichtreaktionen und Assimilation anorganischer Substanz durch Pflanzen. *Dissert.* Zürich (Dr Baudisch).

275. Eckmann (Aaron). Synthese des 7-m-Dioxyflavanons. *Dissert.* Bern (Prof. Tambor).

276. Fischer (Max). Ueber den Abbau von Chlorophyll und Blutfarbstoff. *Dissert.* Zürich (Prof. Willstätter).

277. Gierycz (Henryk). Einfluss des Lösungsmittels auf die Absorption der ultravioletten Strahlungen in Benzollösung. *Dissert.* Freiburg (Prof. von Kowalski).

278. Gury (Ed.). Dosages de graisse dans les fromages, en particulier par la méthode de Bondzynski. Berne. Lab. du service sanitaire féd. — *Travaux ch. alim.* **5.** 361.

279. Guye (Ph. A.) et Germann (F. E. E.). Influence des impuretés gazeuses de l'argent sur les valeurs des poids atomiques déterminées par les méthodes classiques ; poids atomiques du chlore et du phosphore. Genève. — *Comptes rendus* **159.** 992.

280. Hartwich (C.) und Zwicky (E.). Ueber Channa, ein Genussmittel der Hottentotten. Zürich. — *Apotheker-Zeitg.* **29.** 925. 937. 949. 961.

281. Huggenberg (Walter). Die Bestimmung des freien Aetzalkalis in Seifen. *Dissert.* Zürich (Prof. Bosshard).

282. Jaquet (Daniel). Ueber Hydrierung aromatischer Verbindungen mit Platin und Wasserstoff. *Dissert.* Zürich (Prof. Willstätter).

283. Karzeff (Nikolaus). Ueber o-Nitrosophenol und über neue innere Metallkomplexsalze bei Aryl-Nitrosohydroxylaminen und Nitrosophenolen. *Dissert.* Zürich (Dr Baudisch).

284. Kehrmann (F.) und Kissine (Dora). Eine Synthese in der Gruppe der Azoxin-Farbstoffe. Genf. Organ. Lab. der Univ. — *Berichte* **47.** 3096.

285. Kehrmann (F.) und Kissine (Dora). Synthese des 2-Amino-3-oxy-phenazins. Genf. Organ. Lab. der Univ. — *Berichte* **47.** 3100.

286. Kehrmann (F.) und Neil (Archibald A.). Synthese in der Gruppe der Azoxine. Genf. Univ.-Lab. — *Berichte* **47.** 3102.

287. Kehrmann (F.), Speitel (R.) und Grandmougin (E.). Konstitution und Farbe der sich vom Phenyl-naphtophenazonium ableitenden Monamine. Lausanne, Organ. Lab. der Univ. und Mülhausen, Organ. Lab. der Chemieschule. — *Berichte* **47.** 3205.

288. Kehrmann (F.), Speitel (R.) und Grandmougin (E.). Farbe und Konstitution der sich vom Phenyl-iso-naphtophenazonium ableitenden Monamine. Lausanne, Organ. Lab. der Univ. und Mülhausen, Organ. Lab. der Chemieschule. — *Berichte* **47.** 3363.

289. Klinger (Gabriel). Zur Frage der intermediären Bildung von Stickstofftrioxyd bei der Einwirkung von Sauerstoff auf Stickoxyd. Verhalten des Stickstofftrioxyds gegen Kaliumhydroxyd. *Dissert.* Zürich (Dr Baudisch).

290. Koller (P. Cäcilian). Veränderungen und Gesetzmässigkeiten im Reflexionsspektrum einiger Neodymverbindungen. *Dissert.* Freiburg (Prof. von Kowalski).

291. Levite (Ch.). Action du brome sur la 2.6-tétra-méthyltoluylène-diamine. *Thèse.* Genève (Dr Reich).

292. Lifschitz (J.). Die Aenderungen der Lichtabsorption bei der Salzbildung organischer Säuren. Habilitationsschrift. Zürich.

293. Meyer (Heinrich). Beiträge zur Bestimmung des Kohlenoxysulfids neben Kohlendioxyd und Schwefelwasserstoff. *Dissert.* Zürich (Prof. Treadwell).

294. Oswald (Adolf). Ueber die Nicht-Existenz der Uroleucinsäure. Zürich. Agr.-chem. Lab. der techn. Hochschule. — *Zeitschr. physiol. Ch.* **93.** 307.

295. Parchet (Louis). Contribution à l'étude des produits insolubles formés par l'action du silicate de sodium sur quelques sels métalliques. *Thèse.* Lausanne (Prof. Pelet).

296. Pelet (L.) et Marbe (H.). Contribution à l'étude de la teinture de l'indigo. Lausanne. — *Bull. de la Soc. vaudoise des Sc. nat.* **50.** 289.

297. Pelet (L.) et Parchet (L.). Etude de quelques silicates métalliques formés par voie humide. Lausanne. — *Bull. de la Soc. vaudoise des Sc. nat.* **50.** 201.

298. Polliack (M.). Ueber die molekulare Leitfähigkeit einiger Elektrolyte in organischen Lösungsmitteln. *Dissert.* Lausanne (Prof. Dutoit).

299. Prodrom (Ioan). Untersuchungen über Autoxydation und über Umwandlung verschiedener Terpene in Isopren. *Dissert.* Zürich (Prof. Staudinger).

300. Reverdin (Frédéric) et Luc (Armand de). Action de la potasse sur la nitramine de la dinitro-4.6-monométhyl-3-anisidine. Genève. Lab. de ch. org. de l'Univ. — *Archives des Sc. phys. et nat.* **38.** 410.

301. Rordorf (Hart.). Beiträge zur Siam-Benzoë-Forschung. Basel. — *Schweiz. Apotheker-Zeitung* **52.** 701. 713.

302. Schacht (Hermann). Ueber kathodische Abscheidungsformen des Silbers. Ueber den Einfluss von Metallhydroxyden auf die elektrolytische Abscheidung des Silbers. *Dissert.* Bern (Prof. Kohlschütter).

303. Skossarewsky (M.). Sur la dissociation électrolytique de l'acétylène et de ses dérivés métalliques. Genève. — *Comptes rendus* **159.** 769.

304. Stehelin (Charles). Einwirkung elektrochemisch entwickelten Chlors auf aromatische Kohlenwasserstoffe. *Dissert.* Basel (Prof. Fichter).

305. Steiger (Heinrich). Ueber einige Derivate der Zimtsäure. *Dissert.* Basel (Prof. Rupe).

306. Stieger (Anton). Untersuchungen über die Verbreitung des Asparagins, des Glutamins, des Arginins, des Allantoins und der Hemicellulosen in den Pflanzen. *Dissert.* Zürich (Prof. Schulze).

307. Stocker (Robert). Ueber die Drechselsche Wechselstromelektrolyse des Phenols und über die elektrochemische Oxydation aromatischer Kohlenwasserstoffe. *Dissert.* Basel (Prof. Fichter).

308. Stoïkoff (Alexandre). Détermination volumétrique du fer dans des ferro-alliages par titrage à l'aide du permanganate de potasse en solution phosphorique. *Thèse.* Genève (Wunder).

309. Wachter (Hans). Ueber Phtaleine alkylierter Aminokresole. *Dissert.* Zürich (Prof. Ceresole).

310. Wagner (Richard). Ueber Benzol-Bakterien. *Dissert.* Basel (Prof. Fischer).

311. Werner (A.). Zur Kenntnis des asymmetrischen Kobaltatoms. Ueber optische Aktivität bei kohlenstofffreien Verbindungen. Zürich. Univ.-Lab. — *Berichte* **47.** 3087.

312. Wunder (Max) et Lascar (Octavien). Nouvelle modification de la méthode de Kjeldahl pour le dosage de l'azote dans les substances organiques. Genève. Univ. — *Annales ch. anal.* **19.** 329.

313. Zasche (Alfred). Additionsverbindungen als Zwischenprodukte bei Substitutions-Reaktionen. *Dissert.* Zürich (Prof. Werner).

314. Zechmeister (Laszlo). Zur Kenntnis der Cellulose und des Lignins. *Dissert.* Zürich (Prof. Willstätter).

315. Zwicky (Emil). Ueber Channa, ein Genussmittel der Hottentotten. *Dissert.* Zürich (Prof. Hartwich).

1915

Janvier

1. Bach (A.). Sur l'individualité des ferments oxydants et réducteurs. Genève. — *Archives des Sc. phys. et nat.* **39.** 59.

2. Barillet (C. L.) et Berthelé (R.). Vitesses de saponification des acétates de linalyle, de terpényle et de géranyle. Vernier-Genève. Lab. des usines L. Givaudan. — *Bull. de la Soc. chimique* **17.** 20.

3. Besson (A. A). Ist es angezeigt, für den Stengelgehalt im Tee ein Maximum festzusetzen? Basel. — *Chem.-Zeitung* **39.** 82.

4. Ephraim (Fritz) und Jahnsen (Adolf). Ueber die Natur der Nebenvalenzen. Beständigkeit der Ammoniakate von Chloraten, Bromaten und Jodaten. Thermische Dissoziation und Explosion. Bern. Anorg. Lab. der Univ. — *Berichte* **48.** 41.

5. Gabathuler (A.). Der Nachweis von Ziegenmilch in Kuhmilch. Davos. — *Schweiz. Milch-Zeitung* **41.** Nr 9.

6. Häussler (E. P.). Zur Physiologie der Schilddrüse. Freiburg. — *Schweiz. Apotheker-Zeitung* **53.** 32. 46.

7. Hirschfeld (L.) und Klinger (R.). Beiträge zur Physiologie der Blutgerinnung. Zürich. Hygien. Inst. der Univ. — *Biochem. Zeitschr.* **68.** 163.

8. Mayor (A.) et Wiki (B.). L'allylmorphine. Exposé de ses effets pharmacodynamiques. Genève. — *Revue méd. de la Suisse romande* **35.** 5.

9. Monnier (A.). Emploi du sesquichlorure de titane en analyse qualitative. Genève. Univ. — *Annales ch. anal.* **20.** 1.

10. Reutter (L.). Analyse de la résine carthaginoise C provenant d'un sarcophage phénicien. Genève. — *Revue anthropol.* **25.** 27.

11. Reverdin (Frédéric) et Luc (Armand de). Einwirkung von Kalilauge auf das Nitroamin des Dinitro-4,6-monométhyl-3-anisidins. Genf. Org.-chem. Lab. der Univ. — *Berichte* **48.** 56.

12. Stehelin (Pierre Henri). Etude d'une nouvelle synthèse des bases pyridiques. *Thèse.* Genève (Prof. Pictet).

Février

13. Breslauer (Alice). Das Tyrosinasereagens als Mittel zur Feststellung des Grades der Eiweisszersetzung durch Bakterien. Genf. Botan. Inst. der Univ. — *Zeitschr. Gärungsphysiol.* **4.** 353.

14. Brodrick-Pittard (N. A.). Vergleichende Prüfung einiger Käsefettbestimmungsmethoden mit besonderer Berücksichtigung eines abgeänderten Extraktionsverfahren. Liebefeld-Bern. Schweiz. milchwirtschaftl. Anstalt. — *Zeitschr. Unters. Nahrungsmittel* **29.** 112.

15. Bruynings Ingenhoes (C. W.). Zur Kenntnis der Eigenschaften der Salze der seltenen Erden mit den Phenolkarbonsäuren. *Dissert.* Zürich (Dr Jantsch).

16. Eder (Robert). Ueber das Chrysarobin des Handels. Zürich. Pharm. Inst. der techn. Hochschule. — *Archiv der Pharm.* **253.** 1.

17. Fellenberg (Th. von). Ueber den Nachweis des Methylalkoholes nach Dénigès und seine Verwertung zur quantitativen Bestimmung in wässriger Lösung. Bern. Lab. des schweiz. Gesundheitsamtes. — *Mitt. Lebensmittelunters.* **6.** 1.

18. Fellenberg (Th. von). Ueber das Vorkommen von Methylalkohol im Harn bei verschiedener Ernährung. Bern. Lab. des schweiz. Gesundheitsamtes. — *Mitt. Lebensmittelunters.* **6.** 24.

19. Fichter (Fr.) und Kappeler (Hans). Neue Beobachtungen an Jodisalze. Basel. Anorg. Abt. der chem. Anstalt. — *Zeitschr. anal. Ch.* **54.** 134.

20. Fichter (Fr.) und Oesterheld (Gust.). Ueber Sublimation und Dissoziation von Aluminiumnitrid. Basel. Anorg. Abt. der chem. Anstalt. — *Zeitschr. Elektroch.* **21.** 50.

21. Koehler (Fritz C.). Sublimieren von Jod im Laboratorium. Genf. Sautersche Lab. — *Chem.-Zeitung* **39.** 122.

22. Kreis (Hans) und Roth (Emil). Zum Nachweis des Rüböls. Basel. Lab. des Kantons-Chemikers. — *Mitt. Lebensmittelunters.* **6.** 38.

23. Linn (Richard). Ueber die Beständigkeit von Amin-complexen. *Dissert.* Bern (Prof. Ephraim).

24. Niggli (Paul). Ueber die Koexistenz von Phasen, welche verschiedenen Drucken unterworfen sind. Zürich. Mineral.-petrogr. Inst. der techn. Hochschule. — *Zeitschr. anal. Ch.* **54.** 107.

25. Oesterheld (G.). Ein elektrischer Vakuumofen von allgemeiner Verwendbarkeit. Basel. Anorg. Abt. der chem. Anstalt. — *Zeitschr. Elektroch.* **21.** 54.

26. Reutter (Louis). Analyse d'un morceau résineux découvert dans un vase marocain à Port-Etienne, Cap Blanc. Genève. — *J. suisse de pharm.* **53.** 96.

27. Ringer (Moritz). Zur Kenntnis der Azimidobasen und deren Azofarbstoffderivate. *Dissert.* Zürich (Dr Kym).

28. Surber (Hans). Stereo-Isomerie bei Dioxalo-Chromiaten. *Dissert.* Zürich (Prof. Werner).

29. Vrétos (Spyro A.). Zur Frage der Valenzisomerie bei heterogenen Halogenverbindungen. *Dissert.* Zürich (Dr Dubsky).

MESURES DU COURANT ÉLECTRIQUE

PASSANT DE L'ATMOSPHÈRE A LA TERRE

faites chaque jour à Altdorf et à Fribourg, entre 1 h. 30 et 2 h. du soir

AVRIL 1915

Date	Altdorf			Fribourg			Temps
	λ	P. G.	Court	λ	P. G.	Court	
1	251	81	68		193		Beau.
2	177	72	43		86		Couvert.
3	286	47	45		71		Pluie par intermittence.
4	272	64	58		0 à 155		Couvert, pluie Fribourg.
5	282	69	65		51		»
6	—	—	—		51		Pluie à Altdorf.
7	267	67	60		0 à 123		» à Fribourg.
8	306	+54 à -275	—		-429		»
9	278	+70 à -264	—	*Manquent*	21	*Manquent*	»
10	200	97	65		142		Neige à Fribourg.
11	153	95	49		72		Couvert.
12	242	71	57		102 à 357		»
13	159	89	47		116		»
14	229	43	33		102		Assez beau.
15	220	79	58		112		» »
16	272	54	49		86 à 125		Très beau, brumeux.
17	218	54	39		87		» »
18	247	77	63		97		» »
19	218	62	45		92		» »
20	192	82	53		112		Couvert.
21	206	-43 à +28	—	323	-225 à -317	—	Pluie à Altdorf.
22	219	12	9	152	37	56	»
23	246	51	42	211	133	93	Couvert.
24	313	79	82	275	119	109	»
25	270	70	63	320	107	114	Beau à Altdorf.
26	216	70	49	288	123	118	Beau.
27	173	86	50	291	79	78	»
28	184	75	46	301	88	88	»
29	227	69	52	198	102	67	»
30	247	86	71	226	89	67	»

Abréviations

λ = conductibilité par ions négatifs et positifs en unités électrostatiques $\times 10^6$

P. G. = gradient du potentiel en volts par mètre, réduit sur terrain plat

Courant vertical, en unités électrostatiques $\times 10^6$

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES A

L'OBSERVATOIRE DE GENÈVE

PENDANT LE MOIS

D'AVRIL 1915

Le 3, brouillard le matin; pluie de 4 h. à 5 h., de 6 h. 30 à 7 h. du soir et dans la nuit.
4, pluie de 8 h. 30 à 11 h. du matin, à 7 h. du soir et dans la nuit.
5, pluie dans la nuit.
6, pluie de 7 h. à 11 h. du matin et dans la nuit.
7, pluie de 7 h. du matin à 2 h. et de 5 h. 30 à 9 h. 30 du soir; très fort vent.
8, pluie de 7 h. à 11 h. 30 du matin, de 2 h. 40 à 9 h. 20 du soir et dans la nuit.
9, averse de grésil à midi, pluie de 9 h. à 10 h. du soir et dans la nuit.
12, rosée le matin ; très forte bise.
13, gelée blanche le matin.
14, légère gelée blanche le matin.
16, gelée blanche le matin.
21, pluie dans la nuit.
22, pluie à 7 h. du soir et dans la nuit; forte bise.
23, pluie à 7 h. du matin, de 6 h. 30 à 10 h. du soir et dans la nuit.
26, brouillard le matin.
27, orage à 5 h. 15; pluie de 6 h. à 6 h. 30 et à 8 h. du soir; éclairs dans la soirée.
29, orage à 8 h. 15 du soir.

GENÈVE — AVRIL 1915

Jour du mois	Température 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 8 Observ.	Ecart avec la normale	Min.	Max.	Fraction de Saturation en % 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 8 Obs.	Ecart av. la norm.	Min.	Max.	Tempér. du Rhône Midi	Ecart avec la normale	Limnimètre
	°	°	°	°	°	°	°								°	°	mm.
1	+ 2.8	+ 5.6	+ 6.0	+ 4.45	- 2.38	+ 1.5	+ 7.3	74	66	85	74	+ 2	62	86	6.5	- 0.8	1270
2	4.2	8.0	4.4	5.34	- 1.63	+ 2.0	8.8	87	55	77	74	+ 2	54	92	—	—	1215
3	2.0	7.8	4.6	4.23	- 2.87	- 0.5	8.4	85	61	87	81	+10	56	94	6.6	- 0.8	1235
4	3.3	8.2	7.4	5.65	- 1.59	+ 1.0	9.1	93	86	91	**88**	**+17**	71	96	—	—	1185
5	7.6	9.8	8.0	8.89	+ 1.51	5.4	12.8	90	80	86	81	+10	63	92	—	—	1175
6	9.0	8.0	5.3	7.06	- 0.45	3.6	9.8	84	64	70	76	+ 5	56	93	6.5	- 1.2	1205
7	6.2	9.9	12.3	8.82	+ 1.17	2.3	13.2	88	83	58	76	+ 5	52	88	6.6	- 1.1	1220
8	6.8	7.3	3.6	6.50	- 1.29	1.8	12.0	80	66	97	78	+ 7	61	98	6.5	- 1.3	1240
9	4.0	7.0	2.2	4.50	- 3.43	1.0	9.6	78	73	93	79	+ 8	55	94	6.7	- 1.2	1265
10	2.4	6.0	4.1	**3.96**	- 4 11	1.3	6.7	88	57	55	71	+ 1	52	90	6.5	- 1.5	1255
11	4.2	7.2	3.6	4.69	- 3.52	1.5	8.2	62	45	76	**62**	**- 8**	42	84	—	—	1215
12	2.8	6.6	5.1	4.49	- 3.96	+ 1.0	7.4	80	53	68	70	0	50	85	6.5	- 1.7	1245
13	1.1	8.1	6 0	4.48	- 4.01	**- 2.0**	9.4	85	67	67	71	+ 1	41	94	6.7	- 1.6	1240
14	3.6	8.7	5.6	5.61	- 3.02	+ 0.3	10.2	76	51	63	65	- 5	38	91	6.8	- 1.6	1235
15	3.8	9.5	7.0	6.21	- 2.56	+ 0.5	10 8	76	44	74	64	- 6	40	86	7.2	- 1.3	1230
16	2.7	10.4	8.8	6.48	- 2.43	- 0.3	13.7	83	60	75	71	+ 1	47	94	7.5	- 1.1	1260
17	4.5	14.1	10.3	8.62	- 0.43	+ 1.2	16.3	78	43	56	63	- 7	37	92	7.5	- 1.2	1265
18	7.5	11.9	10.5	9.55	+ 0.36	5.8	13.8	81	60	71	71	+ 1	53	87	—	—	1255
19	7.0	14.2	11.6	10.76	+ 1.42	4.3	16.8	85	60	74	73	+ 3	45	95	8.5	- 0.3	1105
20	9.6	15.7	13.4	12.25	+ 2.77	7.0	17.6	83	51	66	69	- 1	49	92	8.3	- 0.6	1105
21	9.0	16.2	10.9	11.38	+ 1.76	5.5	18.6	80	50	74	70	0	44	91	9.2	+ 0.2	1115
22	8.7	10.4	7.7	8.76	- 1.00	6.5	11.8	90	72	75	81	+11	68	95	8.5	- 0.7	1125
23	4.9	7.7	4.4	5.83	- 4.08	2.5	9.2	91	72	98	84	+14	67	**99**	8.7	- 0.6	1140
24	4.2	8.8	6.0	5.86	**- 4.19**	2 2	10.3	93	67	73	80	+10	64	98	8.5	- 0 9	1156
25	6.4	10.8	9.6	8.09	- 2.11	2.8	12.7	82	50	58	68	- 1	**35**	88	—	—	1140
26	6.6	13.2	12.6	9.60	- 0.74	3.0	15.2	83	62	75	76	+ 7	56	93	8.5	- 1.1	1145
27	10.6	16.0	11.8	12.79	+ 2.31	7.2	19.5	80	50	76	68	- 1	40	92	9.5	- 0.2	1135
28	11.2	16.1	12.8	12.46	+ 1 83	7.5	18.7	73	57	68	67	- 2	47	88	9.5	- 0.3	1130
29	10.4	16.8	14.4	13.36	+ 2.59	7.0	19.7	80	51	65	67	- 2	43	92	10.0	+ 0.1	1125
30	+11.2	+18.8	+14.2	**+14.37**	**+ 3.45**	+ 7.0	**+20.8**	78	49	61	65	- 4	45	91	10.5	+ 0.5	1120
Mois	+ 5.94	+10.63	+ 8.14	+ 7.83	- 1.14	+ 3.00	+12.61	82	60	74	73	+ 3			7.83	- 0.95	1192

GENÈVE — AVRIL 1915

Jour du mois	Pression atmosphérique 700mm + 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 8 Obs.	Ecart av. la norm.	Barographe Min.	Max.	Vent 7 h.	1 h.	9 h.	Dominant	Vit. moy. kil. h.	Nébulosité 7 h.	1 h.	9 h.	Moy. 6 obs.	Durée d'insolation	Pluie Hauteur 24 h.	Nombre d'heures
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm										h.	mm.	
1	28.3	29.4	29.2	28.76	+ 4.23	28.0	29.9	NE. 2	NNE 2	NNE. 2	NNE. 2	13.9	10	8	10	8	5.1	....	....
2	30.3	32.0	33 4	31.45	+ 6.93	29.5	**33.8**	NNE. 2	NNE. 2	NE. 1	NNE. 1	11.6	9	3	0	4	4.0	....	...
3	32.6	31.0	30.7	**31.64**	**+ 7.13**	30.1	33.6	SW. 1	SW. 1	SSE. 0	SW. 1	2.5	10	10	10	10	0.0	1.2	3
4	29.7	29.5	29.2	29.53	+ 5.03	28.7	30.2	SE. 1	NW. 1	SSW. 0	calme	0.9	10	10	10	10	0.0	2.4	4
5	26.4	24.3	22.4	24.78	+ 0.29	21.6	28.7	SW. 1	NNE. 1	NNE. 0	NNE. 1	2.9	9	9	0	6	4.1	5.6	5
6	21.8	24.1	22.8	22.68	- 1 81	21.3	24.3	SW. 1	SSE. 1	SSW. 1	SSW. 1	3.6	10	9	0	7	0.5	10.7	9
7	17.0	16.5	16.8	**17.06**	**- 7.42**	**14.6**	21.7	SW. 2	SSW. 2	SW. 2	SW. 2	17.4	10	10	10	9	1.0	**19.3**	11
8	18.0	22.5	25.9	21.33	- 3.15	17.2	25.9	E. 1	NW. 1	NNE. 2	SSW. 1	10.7	10	10	10	9	1.3	12.7	**12**
9	27.6	28.2	29.3	27.83	+ 3.35	25.8	29.5	W. 0	SW. 1	SE. 1	SW. 1	7.3	9	7	5	8	5.4	6.9	6
10	27.1	24.0	25.4	25 86	+ 1.37	23.1	28 4	W. 1	SSW. 1	NNE. 1	SSW. 1	9.2	9	9	1	7	1.4	0.1	....
11	28.4	29.0	30.5	28.76	+ 4.27	26.4	30.5	NE. 1	NNE. 1	NNE. 1	NE. 2	15.8	4	7	0	5	9.1	....	....
12	29.2	27.8	26.9	28.20	+ 3.70	26.0	30.2	NW. 1	NNE. 3	NNE. 2	NNE. 2	**20.3**	2	7	0	3	9.8	....	....
13	25.0	22.2	21.7	23.31	- 1.20	21.2	26.0	SE. 1	N. 1	NE. 2	NNE. 1	13.4	1	7	0	3	11.3	....	....
14	22.1	21.8	24.2	22.30	- 2.22	21.5	24.8	NNW 1	NNE. 1	NNE. 1	NNE. 1	13.2	0	2	0	3	10.7	....	....
15	26.7	28.2	30.5	27.74	+ 3.21	24.8	31.3	NNE. 1	NNE. 1	E. 0	NNE. 1	9.6	1	2	0	1	12.2	....	....
16	32.4	31.4	29.9	31.16	+ 6.61	29.7	32.6	E. 1	NNE. 1	SE. 0	NNE. 1	4.0	0	1	0	0	11.9	....	....
17	29.1	27.2	25.7	27.65	+ 3.09	25.6	29.9	SE. 0	NNE. 1	NNE. 1	NNE. 1	7.5	0	1	0	1	11.8	....	....
18	25.8	24.6	24.8	25.00	+ 0.42	23.8	25.8	NNE. 1	NNE. 1	N. 1	NNE. 1	7.9	9	8	0	4	9.6	....	....
19	25.7	25.4	26.2	25.43	+ 0.83	24.7	26.6	SSW. 0	NNE. 1	NNW. 1	NNE. 1	4.8	0	0	4	2	11.1	....	....
20	26.5	25.0	25.2	25 53	+ 0.91	23.6	26.6	SE. 0	NNE. 1	E. 0	NNE. 1	5.4	1	2	8	4	9.9	....	....
21	25.8	24.9	25.3	25.29	+ 0.65	24.4	25.8	SSW. 0	W. 1	NNE. 1	NNE. 1	5.0	6	9	9	8	6.1	0.2	1
22	24.2	22.9	22.1	23.42	- 1.25	21.8	25.3	NNE. 1	NNE. 2	NNE. 2	NNE. 2	19.3	9	9	10	9	0.0	1.3	2
23	21.1	20.5	21.6	21.04	- 3.65	20.2	21.9	E. 1	NNE. 2	SE. 1	NNE. 1	12.7	10	9	10	10	0.6	11.3	10
24	22.0	21.6	22.4	22.02	- 2.70	21.4	23.2	SE. 1	SW. 1	SSW. 1	SSW. 1	5.2	10	9	2	7	0.0	....	....
25	23.1	23.9	25.6	23.87	- 0.88	22.7	26.3	NW. 1	NNE. 1	NE. 1	NNE. 1	5.6	3	2	0	2	11.9	....	....
26	26.8	25.5	24.8	25.66	+ 0.88	24.1	26.8	SW. 1	N 1	SSW. 1	var.	3.6	9	8	9	8	7.8	....	....
27	26.1	25.4	26 6	25.48	+ 0.67	23.8	27.2	NNE. 1	NNE. 1	SSW. 1	NNE 1	4.2	9	2	3	5	9.0	0.8	1
28	28 8	28.4	28.7	28.21	+ 3.37	27.2	29.1	NNW. 1	NNE. 1	SSW. 1	NNE. 1	5.2	1	3	2	2	12.5	....	....
29	29.7	28.7	28.2	28.75	+ 3.87	27.3	29.8	SSW. 0	NNE. 1	SSW. 0	NNE. 1	2.7	4	1	1	3	11.6	....	....
30	28.9	27.8	29.1	28.30	+ 3.39	26.6	29.4	SSW. 0	NNE. 1	SSW. 3	NNE. 1	6.7	0	2	4	2	**13.0**	....	....
Mois	26.21	25.80	26.17	25.93	+ 1.16							8.40	5.8	5.9	3.9	5.3	202.7	72.5	74

MOYENNES DE GENÈVE. — AVRIL 1915

Correction pour réduire la pression atmosphérique de Genève à la pesanteur normale : + 0mm.02. — Cette correction n'est pas appliquée dans les tableaux.

Pression atmosphérique : 700mm +

	1 h. m.	4 h. m.	7 h. m.	10 h. m.	1 h. s.	4 h. s.	7 h. s.	10 h. s.	Moyennes
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1re déc.	26.40	25.96	25.88	26.02	26.15	25 67	26.14	26.51	26.09
2e »	26.77	26.66	27.08	26.97	26.27	25.58	26.06	26.66	26 51
3e »	25.31	25.29	25.66	25.81	24 98	24.25	24.68	25.65	25.20
Mois	26.16	25.97	26.21	26.27	25.80	25.16	25.63	26.27	25.93

Température.

	°	°	°	°	°	°	°	°	°
1re déc	+ 3.80	+ 3.88	+ 4.83	+ 6.93	+ 7.76	+ 8.05	+ 6.97	+ 5.30	+ 5.94
2e »	3.86	2.63	4.68	8.27	10 64	11.78	9.51	7.14	7.31
3e »	7.06	5.91	8.32	11.29	13.48	14.24	11.96	9.74	10.25
Mois	+ 4.91	+ 4.14	+ 5.94	+ 8.83	+10.63	+11.36	+ 9.48	+ 7.39	+ 7.83

Fraction de saturation en %.

1re décade	86	86	85	72	69	69	75	80	78
2e »	82	87	79	61	53	48	61	73	68
3e »	86	89	83	67	58	54	67	76	73
Mois	84	87	82	67	60	57	68	76	73

Dans ce mois l'air a été calme 100 fois sur 1000.

Le rapport des vents $\frac{NNE}{SSW} = \frac{125}{45} = 2.78$

Moyennes des 3 observations (7^h, 1^h, 9^h)

		mm
Pression atmosphérique.....		26.06
Nébulosité		5.2
Température	$\frac{7+1+9}{3}$..	+ 8°.24
	$\frac{7+1+2\times9}{4}$..	+ 8°.21
Fraction de saturation.....		72 %

Valeurs normales du mois pour les éléments météorologiques, d'après Plantamour :

		mm
Press. atmosphér..	(1836-1875).	24.77
Nébulosité..	(1847-1875).	5.8
Hauteur de pluie..	(1826-1875).	56mm.8
Nombre de jours de pluie.	(id.).	11
Température moyenne ...	(id.).	+ 8°.97
Fraction de saturat.	(1849-1875).	70 %

Observations météorologiques faites dans le canton de Genève

Résultats des observations pluviométriques

Station	CÉLIGNY	COLLEX	CHAMBESY	CHATELAINE	SATIGNY	ATHENAZ	COMPESIÈRES
Hauteur d'eau en mm.	95.2	91.0	75.7	75.8	78 2	69.2	62.6

Station	VEYRIER	OBSERVATOIRE	COLOGNY	PUPLINGE	JUSSY	HERMANCE
Hauteur d'eau en mm.	56.9	72.5	63.1	47.6	60.2	69 0

Insolation à Jussy : 156.1 h.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES AU

GRAND SAINT-BERNARD

PENDANT LE MOIS

D'AVRIL 1915

Les 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 14, 22, 23 et 24, neige.
2, 9, 10, 11, 12, 13, 18, 19, 20 et 25, brouillard.
8, 9 et 10, très forte bise.
7, 23, 25 et 28, très fort vent.

GRAND SAINT-BERNARD — AVRIL 1915

Jour du mois	Pression atmosphérique 500mm + 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 3 Obs.	Ecart av. la norm.	Barographe Min.	Max.	Vent 7 h.	1 h.	9 h.	Dominant	Nébulosité 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 3 Obs.	Pluie Hauteur (24 h.)	Neige Hauteur (24 h.)
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.									mm.	cm.
1	62.4	64.1	64.3	63.6	+ 3.3	62.0	64.5	SW. 1	SW. 1	SW. 1	SW. 1	0	6	10	5	5.0	6
2	64.0	64.8	66.1	65.0	+ 4.6	63.8	66.2	NE. 1	NE. 0	NE. 1	NE. 1	10	10	10	10	....	...
3	64.6	64.0	63.4	64.0	+ 3.5	63 2	65.6	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	10	10	10	10	12.5	15
4	63.6	64.4	65.1	64.4	+ 3.9	63.2	65.3	NE. 2	NE. 2	NE. 1	NE. 2	10	10	10	10	8.0	6
5	63.4	62.8	62.0	62.7	+ 2.1	61.1	64.4	NE. 1	NE. 0	NE. 2	NE. 1	2	0	0	1	....	....
6	59.7	59.0	58.6	59.1	- 1.5	57.3	61.1	SW. 2	SW. 1	NE. 1	SW. 1	10	10	0	7	6.0	10
7	56.0	56.1	56.4	**56.2**	- 4.5	55.8	57.3	SW. 3	SW. 1	SW. 2	SW. 2	10	10	10	10	**44.6**	**20**
8	56.1	55 6	58.6	56.8	- 4.0	**55.4**	59.1	SW. 1	SW. 1	NE. 4	SW. 1	10	10	10	10	21.0	17
9	59.5	60.7	61.3	60.5	- 0.3	59.1	61.4	NE. 4	NE. 1	NE. 1	NE. 2	10	7	9	9	11.0	12
10	59.0	56.6	57.5	57.7	- 3.2	56.5	60.2	SW. 1	NE. 0	NE. 3	NE. 1	10	10	10	10	15.8	10
11	59.5	60.8	62.1	60.8	- 0.2	58.3	62.1	NE. 2	NE. 1	NE. 1	NE. 1	10	9	10	10	....	....
12	60.6	61.1	60 8	60.8	- 0.3	59 6	61.3	NE. 1	NE. 1	NE. 0	NE. 1	0	8	0	3	...	....
13	58.1	56.7	56.6	57.1	- 4.0	56.2	59.6	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	1	8	10	6	....	....
14	55.8	57.0	58.5	57.1	- 4.1	55.8	59.2	NE. 1	NE. 0	NE. 1	NE. 1	6	0	10	5	0.4	....
15	60.0	63.8	65.5	63.1	+ 1.8	59.2	65.8	NE. 0	SW. 0	SW. 0	calme	0	1	0	0	...	....
16	66.4	67.2	66.8	66 8	**+ 5.4**	65.8	67.4	SW. 0	SW. 0	SW. 0	calme	0	0	0	0	....	....
17	65.0	64.8	64.5	64.8	+ 3.3	64.4	66.1	SW. 0	SW. 1	SW. 1	SW. 1	1	10	10	7	....	....
18	64.7	64.0	64.5	64.4	+ 2.9	64.0	64.8	SW. 1	SW. 0	SW. 1	SW. 1	4	7	10	7	....	....
19	63.7	64.2	64.8	64.2	+ 2.6	63.6	64.8	SW. 0	SW. 1	NE. 1	var.	9	1	10	7	....	....
20	64.1	64.1	64.1	64.1	+ 2.4	63.6	64.5	SW. 0	SW. 0	NE. 0	calme	10	10	5	8	....	....
21	63.3	63.0	62.7	63.0	+ 1.2	62.0	63.6	NE. 1	NE. 1	NE. 0	NE. 1	10	10	10	10	....	....
22	61.0	60.3	58.3	59.9	- 2.0	57.5	62.0	NE. 1	SW. 1	NE. 1	NE. 1	3	4	10	6	4.5	5
23	56.6	56.7	57.0	56.8	- 5.2	56.5	57.5	NE. 1	SW. 1	SW. 3	SW. 2	10	10	10	10	9.0	9
24	57.0	57.3	58.1	57.5	**- 4.6**	56.8	58.4	SW. 1	SW. 1	NE. 0	SW. 1	10	10	10	10	10.0	10
25	58.7	60.4	63.0	60.7	- 1 5	58.4	63.6	SW. 4	SW. 5	NE. 1	SW. 4	10	10	8	9	...	....
26	64.0	64.2	64.5	64.2	+ 2.0	63.6	64.5	SW. 1	SW. 2	SW. 1	SW. 1	7	10	9	9	....	...
27	64.3	64.5	65.2	64.7	+ 2.4	64.1	65.8	SW 1	SW. 1	SW. 1	SW. 1	10	9	7	9	...	....
28	66.2	67.0	67.2	66.8	+ 4.4	65.8	67.3	SW. 3	SW. 1	NE. 1	SW. 2	10	10	1	7	....	....
29	67.0	67.0	67.5	67.1	+ 4.6	66.9	67.5	NE. 1	NE. 0	NE. 0	calme	1	0	0	0	....	....
30	67.2	67.3	67.6	**67.4**	+ 4.8	67.0	**67.7**	NE. 1	NE. 0	NE. 0	calme	1	1	3	2	....	....
Mois	61 72	61.98	62.42	62.04	+ 0.41							6.5	7.0	7.1	6.9	147.8	120

GRAND SAINT-BERNARD — AVRIL 1915

Jour du mois	Température							Fraction de saturation en %					
	7 heures	1 heure	9 heures	Moyenne 3 Observ.	Ecart avec la normale	Minimum	Maximum	7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 3 Obs.	Min.	Max.
	°	°	°	°	°	°	°						
1	- 8.9	- 4.9	- 5.3	- 6.4	- 0.9	- 9.7	- 3.8	65	73	96	78	54	97
2	- 5.7	- 2.4	- 7.2	- 5.1	+ 0.3	- 8.3	- 2.0	96	80	96	91	66	98
3	- 10.1	- 7.3	- 8.6	- 8.7	- 3.5	- 10.6	- 6.4	72	86	95	84	68	97
4	- 5.3	- 2.8	- 3.1	- 3.7	+ 1.4	- 9.8	- 2.5	50	90	96	79	38	98
5	- 3.8	+ 1.8	- 1.0	- 1.0	+ 4.0	- 4.0	+ 3.2	96	54	64	71	**29**	98
6	- 3.6	- 1.0	- 7.0	- 3.9	+ 1.0	- 7.3	- 0.7	94	75	81	83	52	96
7	- 4.6	- 2.0	- 3.6	- 3.4	+ 1.3	- 7.2	- 1.1	95	89	90	91	38	97
8	- 6.4	- 4.6	- 6.5	- 5.8	- 1.2	- 7.0	- 4.4	94	97	96	**96**	88	99
9	- 8.4	- 6.6	- 9.8	- 8.3	- 3.8	- 10.4	- 6.3	97	96	92	95	84	98
10	- 10.6	- 7.4	- 9.6	- 9.2	- 4.8	- 10.8	- 7 2	90	87	86	88	81	95
11	- 12.0	- 8.6	- 11.4	- 10 7	- 6.5	- 12.2	- 8.3	85	88	86	86	82	89
12	- 14.2	- 7.8	- 11 4	- **11.1**	- **7.0**	- **15.3**	- 5.8	87	83	85	85	76	91
13	- 11.2	- 7.2	- 9.8	- 9.4	- 5.4	- 11.6	- 6.8	72	75	92	80	68	95
14	- 11.4	- 6.8	- 9.4	- 9.2	- 5.4	- 11.4	- 6.0	90	80	94	88	74	97
15	- 11.5	- 5.4	- 7.6	- 8.2	- 4.5	- 11.6	- 4.3	81	65	84	77	53	86
16	- 8.4	- 4.0	- 4.6	- 5.6	- 2 1	- 8.5	- 1 4	78	70	77	75	62	83
17	- 6.4	- 3.2	- 5.0	- 4.9	- 1.5	- 6.5	- 0.8	90	75	95	87	68	97
18	- 4.0	- 1.4	- 2.6	- 2.7	+ 0.6	- 4.4	- 1.2	90	85	100	92	74	100
19	- 2.4	+ 0.8	- 1.0	- 0.9	+ 2.2	- 2.7	+ 1.7	97	75	95	89	53	99
20	- 1.4	+ 1.2	- 1.0	- 0.4	+ **2.6**	- 1.8	+ 2.6	91	73	86	83	46	94
21	- 2.3	- 1.7	- 3.7	- 2.6	+ 0.2	- 4.0	- 1.4	98	94	97	**96**	75	100
22	- 5.3	+ 0.8	- 3.3	- 2.6	+ 0.1	- 5.5	+ 1.2	97	77	96	90	64	98
23	- 4.8	- 2.6	- 5.0	- 3.1	- 0.5	- 6.1	- 0.2	96	86	98	93	65	99
24	- 6.4	- 4.8	- 7.0	- 6.1	- 3.7	- 6.7	- 1.6	97	81	98	92	73	100
25	- 7.5	- 5.2	- 5.3	- 6.0	- 3.7	- 8.2	- 4.3	95	92	93	93	70	97
26	- 2.8	- 0.5	- 2.2	- 1.8	+ 0.3	- 3.6	- 0.3	75	90	78	81	68	95
27	- 2.9	+ 1.0	- 3.0	- 1.6	+ 0.4	- 3.1	+ 1.8	90	87	98	92	60	100
28	- 3.4	- 1.3	- 3.0	- 2.5	- 0.7	- 3.5	- 1.1	92	91	80	88	64	96
29	- 2.8	+ 1.1	- 1.2	- 1.0	+ 0.7	- 3.7	+ 2.5	64	59	78	**67**	40	83
30	- 0.2	+ 3 1	+ 0.2	+ **1.0**	+ **2.6**	- 1.6	+ **5.3**	66	60	83	70	37	88
Mois	- 6.29	- 2.99	- 5.30	- 4.86	- 1.59	- 7.24	- 1.98	86	80	89	85		

MOYENNES DU GRAND SAINT-BERNARD — AVRIL 1915

Correction pour réduire la pression atmosphérique du Grand Saint-Bernard à la pesanteur normale : — $0^{mm}.22$. — Cette correction n'est pas appliquée dans les tableaux.

Pression atmosphérique : 500mm + **Fraction de saturation en %**

	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
	mm	mm	mm	mm				
1re décade	60.83	60.81	61.33	61.00	85	83	89	86
2e »	61.79	62.37	62.82	62.32	86	77	89	84
3e »	62.53	62.77	63.11	62.81	87	82	90	86
Mois	61.72	61.98	62.42	62.04	86	80	89	85

Température.

	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne. $\frac{7+1+9}{3}$	Moyenne. $\frac{7+1+2\times9}{4}$
	°	°	°	°	°
1re décade	— 6.74	— 3.72	— 6.17	— 5.55	— 5.70
2e »	— 8.29	— 4 24	— 6.38	— 6.31	— 6.32
3e »	— 3.84	— 1.01	— 3.35	— 2.73	— 2.89
Mois	— 6.29	— 2.99	— 5.30	— 4.86	— 4.97

Dans ce mois l'air a été calme 244 fois sur 1000

Le rapport des vents $\frac{NE}{SW} = \frac{44}{52} = 0.85$

Pluie et neige dans le Val d'Entremont.

Station	Martigny-Ville	Orsières	Bourg-St-Pierre	St-Bernard
Eau en millimètres.....	65.4	71.4	61.9	147.8
Neige en centimètres....	—	—	35	120

LA GÉOMÉTRIE

DES

FEUILLETS « COTÉS »

PAR

René DE SAUSSURE

(Suite [1]*)*

VI. — La tétracouronne.

La tétracouronne est le lieu des feuillets communs à 3 hexacouronnes, ou si l'on veut, le lieu des feuillets complémentaires de 3 feuillets cotés donnés. Nous savons aussi que la tétracouronne est le système complémentaire de la bicouronne et que pour déterminer une tétracouronne, il est nécessaire et suffisant de se donner 5 de ses feuillets.

Les feuillets (MDP) d'une tétracouronne qui se trouvent en un point donné M de l'espace forment évidemment une *monosérie*; les droites D forment un cône ayant son sommet au point M, et les plans P enveloppent un autre cône ayant aussi le point M comme sommet. Il serait intéressant de déterminer la forme de cette monosérie, ainsi que celle de la *monosérie* formée par les feuillets (MDP) de la tétracouronne qui sont situés dans un plan donné P; cette dernière monosérie peut être définie par la courbe trajectoire du point M et la courbe enveloppe de la droite D dans le plan fixe P. Enfin, toute

[1]) Voir *Archives*, 1915, t. XXXIX, p. 5, 109 et 389.

droite D de l'espace porte un nombre *fini* de feuillets (MDP) appartenant à une tétracouronne donnée. Il serait utile de déterminer ce nombre.

Si l'on considère la monosérie des feuillets (MDP) qui appartiennent à une tétracouronne et qui sont situés en un point donné M de l'espace (ou dans un plan donné P), les feuillets de cette monosérie qui ont une cote donnée f sont en nombre *fini*, et ce nombre est égal à *un*, ainsi que nous le verrons plus loin.

Nous n'avons pas l'intention de faire ici une étude détaillée des propriétés de la tétracouronne. Nous voulons simplement étudier les liens qui existent entre une tétracouronne et sa bicouronne complémentaire, car on peut presque toujours résoudre les problèmes relatifs à une tétracouronne au moyen des propriétés déjà établies de la bicouronne complémentaire.

Construction de la tétracouronne au moyen de la bicouronne. — Voyons d'abord comment l'on peut construire une tricouronne Σ au moyen de la tricouronne complémentaire S : soient $F_1(f_1)$, $F_2(f_2)$, $F_3(f_3)$ trois feuillets quelconques du système S; le feuillet Φ contraire de ces trois feuillets appartient au système Σ, car deux feuillets contraires sont toujours complémentaires, quelles que soient leurs cotes; en outre, si $F_4(f_4)$ est un quatrième feuillet du système S, on peut toujours donner au feuillet Φ une cote φ choisie de telle façon que le feuillet $\Phi(\varphi)$ soit complémentaire de $F_4(f_4)$; le feuillet $\Phi(\varphi)$ ainsi construit étant alors complémentaire de 4 feuillets arbitrairement choisis dans la tricouronne S, sera complémentaire de tout le système S; le lieu du feuillet $\Phi(\varphi)$ est donc le système Σ qu'il s'agissait de construire.

Considérons maintenant une bicouronne S et proposons-nous de construire la tétracouronne complémentaire Σ : on prendra dans le système S deux feuillets quelconques $F_1(f_1)$ et $F_2(f_2)$ et l'on construira tous les feuillets Φ qui sont contraires de ces deux feuillets; nous savons que l'ensemble de ces feuillets contraires forme une bisérie, portée par un cylindre de révolution, dont l'axe coïncide avec celui de la monocouronne $[F_1(f_1), F_2(f_2)]$ (voir p. 390) ; ces feuillets contraires Φ sont donc complémentaires de $F_1(f_1)$ et $F_2(f_2)$, et en choisissant convenablement

leurs cotes φ, on pourra les rendre aussi complémentaires d'un troisième feuillet $F_3(f_3)$ choisi arbitrairement dans le système S ; les feuillets $\Phi(\varphi)$ ainsi construits étant alors complémentaires de 3 feuillets arbitrairement choisis dans la bicouronne S, seront complémentaires de tout le système S, c'est-à-dire que les feuillets $\Phi(\varphi)$ forment un fragment de la tétracouronne Σ qu'il s'agissait de construire. En faisant varier les 3 feuillets $F_1(f_1)$, $F_2(f_2)$, $F_3(f_3)$ choisis dans le système S, on pourra construire toute la tétracouronne Σ par fragments, chaque fragment contenant une ∞^2 de feuillets $\Phi(\varphi)$ portés par un cylindre de révolution dont l'axe coïncide avec l'axe de la monocouronne $[F_1(f_1), F_2(f_2)]$ dans le système S.

Feuillets de cote nulle, ou plus généralement de cote donnée f. — *Dans une tétracouronne S, les feuillets F qui ont une cote donnée* f *forment une trisérie linéaire.* Or, nous avons vu dans la géométrie des feuillets (non cotés) qu'à toute trisérie linéaire de feuillets correspond une monosérie linéaire *réciproque.*

On peut voir facilement que les feuillets de cette monosérie réciproque (si on leur assigne à tous une même cote $-f$) feront partie de la bicouronne Σ complémentaire du système S : en effet, deux feuillets réciproques affectés de cote $+f$ et $-f$ sont aussi complémentaires, et comme il faut 5 feuillets pour déterminer une trisérie linéaire, tout feuillet de la monosérie réciproque $(-f)$ étant complémentaire de ces 5 feuillets, sera aussi complémentaire de toute la tétracouronne S déterminée par ces 5 feuillets (affectés de la cote $+f$); la monosérie des feuillets de cote $-f$ appartient donc à la bicouronne complémentaire Σ.

Ce résultat peut s'exprimer plus clairement de la façon suivante :

Théorème XXXI. — *Etant données une tétracouronne S et la bicouronne complémentaire* Σ, le système S est composé d'une famille de trisérie linéaires, correspondant chacune à une cote déterminée, et le système Σ est composé d'une famille de monosérie linéaires correspondant aussi chacune à une cote déter-

minée; en outre, *la trisérie linéaire de cote* + f *dans la tétracouronne S est réciproque de la monosérie linéaire de cote* — f *dans la bicouronne* Σ.

VII. — La pentacouronne.

La pentacouronne est le lieu des feuillets communs à deux hexacouronnes ou, si l'on veut, le lieu des feuillets cotés complémentaires de deux feuillets donnés. Nous avons vu que *six* feuillets sont nécessaires pour déterminer une pentacouronne.

Toute pentacouronne possède en chaque point M et dans chaque plan P de l'espace une double infinité de feuillets. Ces feuillets forment donc autour du point M, ou dans le plan P, une bisérie, dont nous n'avons pas encore pu déterminer la nature. D'autre part, chaque droite D de l'espace porte un nombre simplement infini (monosérie) de feuillets cotés (MDP) appartenant à la pentacouronne; il y aurait lieu, là aussi, de déterminer la forme de cette monosérie en cherchant la loi qui relie sur la droite D la position du point M à l'orientation du plan P.

Si l'on considère maintenant parmi les feuillets de la pentacouronne qui sont situés en un point M (ou dans un plan P), ceux qui ont *une cote donnée* f, ces feuillets ne forment plus qu'une monosérie, et cette monosérie est une *couronne à point fixe* (ou *à plan fixe*), ainsi que nous le verrons au paragraphe suivant. D'autre part, les feuillets de la pentacouronne qui sont portés par une droite donnée D et qui ont une cote donnée *f* sont en nombre fini et ce nombre est égal à *deux,* correspondant aux deux sens de la droite D.

Construction de la pentacouronne. — Nous avons vu que le système complémentaire d'une pentacouronne est une monocouronne. On peut donc construire une pentacouronne S au moyen d'une monocouronne Σ.

En effet, soit Φ (φ) un feuillet quelconque de Σ. En construisant tous les feuillets F symétriques de Φ par rapport aux différentes droites de l'espace, on obtient la tétrasérie des feuillets contraires du feuillet Φ. Cette tétrasérie constitue évidemment

un fragment de la pentacouronne S qu'il s'agit de construire, puisque tout feuillet F contraire du feuillet Φ est aussi complémentaire du feuillet coté Φ (φ), et cela quelle que soit la cote f que l'on attribue au feuillet F; on pourra donc choisir la cote f de chaque feuillet F de telle façon que les feuillets cotés F (f) soient aussi complémentaires d'un second feuillet Φ' (φ') appartenant à la monocouronne Σ. Tous les feuillets F (f) ainsi construits seront alors complémentaires de toute la monocouronne Σ, puisqu'ils sont tous complémentaires de deux feuillets de cette monocouronne. Ainsi *la pentacouronne S peut être considérée comme l'ensemble des tétrasérie obtenues chacune en construisant tous les feuillets contraires d'un feuillet de la monocouronne* Σ. En d'autres termes : *tout feuillet contraire d'un seul feuillet de la monocouronne* Σ *appartient à la pentacouronne S.*

Ce théorème correspond en géométrie réglée au suivant : « toute droite qui rencontre à angle droit une génératrice quelconque d'un monofaisceau (conoïde de Plücker) appartient au trifaisceau complémentaire ».

Feuillets de cote nulle, ou plus généralement de cote donnée f. — Dans toute polycouronne, les feuillets qui ont une cote donnée forment une polysérie linéaire, donc : *dans une pentacouronne S les feuillets F* (f) *qui ont une cote donnée* f *forment une tétrasérie linéaire.*

Or, nous avons vu dans la géométrie des feuillets qu'à toute tétrasérie linéaire correspond un système de *deux* feuillets réciproques de cette tétrasérie. Nous allons montrer que si la tétrasérie linéaire considérée fait partie de la pentacouronne S, ses deux feuillets réciproques feront partie de la monocouronne complémentaire Σ (et en effet, dans toute monocouronne, le nombre des feuillets qui ont une cote donnée est égal à deux); il faut remarquer seulement que la cote commune de ces deux feuillets réciproques sera égale à $-f$: en effet, pour que des feuillets réciproques soient aussi complémentaires, il suffit que leurs cotes soient égales et de signes contraires; les deux feuillets de cote $-f$ sont donc aussi complémentaires de la tétrasérie linéaire de cote $+f$ dans le système S; par suite, ces deux feuillets sont complémentaires de 6 feuillets quelconques de

cette tétrasérie; or, comme ces 6 feuillets sont aussi situés dans la pentacouronne S et comme il faut 6 feuillets pour définir la pentacouronne S, les deux feuillets de cote $-f$ sont donc complémentaires de toute la pentacouronne S, c'est-à-dire que ces deux feuillets font partie de la monocouronne complémentaire Σ.

(C.Q.F.D.)

Ce résultat peut être exprimé de la façon suivante :

Théorème XXXII. — *Etant données une pentacouronne S et la monocouronne complémentaire* Σ, le système S peut être considéré comme formé d'une famille de tétraséries linéaires correspondant chacune à une cote déterminée, et le système Σ peut être considéré comme formé de feuillets accouplés deux à deux, les deux feuillets d'un même couple possédant la même cote : *la tétrasérie linéaire de cote* $+$ f *dans la pentacouronne S est alors réciproque du couple de feuillets de cote* $-$ f *dans la monocouronne* Σ.

VIII. — L'hexacouronne.

L'hexacouronne a été définie comme le lieu des feuillets cotés complémentaires d'un feuillet donné $\Phi(\varphi)$. Tout feuillet F de l'espace fait partie de l'hexacouronne ainsi définie, pourvu qu'on lui assigne une cote f convenable, c'est-à-dire une cote satisfaisant à la relation de complémentarisme : $f + \varphi = h \, tang. \frac{\omega}{2}$. Il n'est donc pas besoin de trouver pour l'hexacouronne un procédé de construction; il suffit de coter suivant une certaine loi tous les feuillets de l'espace.

Les feuillets d'une hexacouronne qui sont situés en un point donné M, ou dans un plan donné P sont donc en nombre ∞^3. Ces feuillets forment une trisérie à point fixe (ou à plan fixe) et il y aurait lieu de déterminer la loi de distribution des cotes dans cette trisérie. Les feuillets de l'hexacouronne qui sont portés par une même droite D sont en nombre ∞^2; ils forment donc une bisérie (à droite fixe).

Feuillets de cote nulle, ou plus généralement de cote donnée f. Les feuillets F d'une hexacouronne qui ont la même cote f forment une *pentasérie linéaire*. En effet, si l'on pose $f = const.$ dans la relation ci-dessus, celle-ci se réduit à $h\ tang.\ \frac{\omega}{2} = const.$, équation d'une pentasérie linéaire (voir Géométrie des feuillets).

Toute hexacouronne peut donc être considérée comme une famille de pentaséries linéaires, ayant toutes comme feuillet central le feuillet complémentaire Φ, mais possédant chacune un paramètre différent $(= f + \varphi)$.

Nous savons que les feuillets d'une pentasérie linéaire qui sont situés en un point donné (ou dans un plan donné) de l'espace forment un couronoïde. On en déduit donc le théorème suivant :

Théorème XXXIII. — *Les feuillets d'une hexacouronne qui sont situés en un point M, ou dans un plan P, de l'espace et qui ont une cote donnée* f, *forment un couronoïde à point (ou à plan) fixe.*

Il en résulte immédiatement que pour une pentacouronne, ces feuillets forment une couronne (intersection de 2 couronoïdes), et pour une tétracouronne ces feuillets se réduisent à un seul feuillet (intersection de 3 couronoïdes), ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer dans les deux paragraphes précédents. *(A suivre).*

DÉTERMINATION

DE LA

CHARGE ÉLÉMENTAIRE D'ÉLECTRICITÉ

PAR LES

PROPRIÉTÉS FERROMAGNÉTIQUES ET LE MAGNÉTON

PAR

Jakob KUNZ

La théorie des électrons semble expliquer d'une manière directe les phénomènes magnétiques. En effet, il suffit de remplacer les courants élémentaires qui constituent les aimants par des électrons en révolution afin d'exprimer la théorie d'Ampère sur le magnétisme en des termes de la théorie des électrons. Une étude plus approfondie de J.-J. Thomson et Voigt montra cependant que les électrons en mouvement ne sont pas capables d'expliquer les phénomènes magnétiques. Ce fut seulement après les recherches expérimentales de P. Curie que P. Langevin réussit à donner une explication plus satisfaisante du diamagnétisme et du paramagnétisme. P. Curie trouva que la susceptibilité paramagnétique est inversement proportionnelle à la température absolue. Langevin conclut qu'il y a une différence fondamentale entre les propriétés diamagnétiques et paramagnétiques. Dans la théorie de Langevin, le diamagnétisme est une propriété caractéristique de chaque molécule contenant un certain nombre d'électrons en révolution. Si le moment magnétique résultant des électrons dans une molécule est zéro, la substance est diamagnétique; l'action d'un champ magnétique extérieure est de changer faiblement l'orbite des

électrons, c'est la modification diamagnétique de la molécule. Si les électrons en révolution possèdent un moment magnétique résultant, la substance doit être paramagnétique. La matière, dans toutes ces formes, est diamagnétique et il y a une différence profonde entre le diamagnétisme et le paramagnétisme qui masque pour ainsi dire le diamagnétisme, sans qu'il y ait transition continue d'un groupe de phénomènes à l'autre. Langevin constate que les constantes paramagnétiques sont très grandes en comparaison des constantes diamagnétiques.

P. Weiss a étendu la théorie de Langevin aux substances ferromagnétiques en introduisant dans la théorie de Langevin le champ moléculaire qu'on doit ajouter au champ extérieur pour rendre compte des actions mutuelles des aimants élémentaires. En outre, P. Weiss a réussi à donner une explication quantitative de plusieurs phénomènes ferromagnétiques. J'ai appliqué cette théorie à la détermination des valeurs absolues des moments magnétiques élémentaires ([1]). Je me suis servi de l'équation de Weiss :

$$m = \frac{3r\Theta}{NIm},$$

$r = 1{,}36,\ 10^{-16}$;

Im = l'intensité théorique de l'aimantation au zéro absolu.

Θ = la température à laquelle le ferromagnétisme disparait.

$N = 2{,}72.\ 10^{19}$.

Il est facile de déterminer, indirectement, il est vrai, la quantité élémentaire e de l'électricité. Voici les résultats obtenus jusqu'à présent :

	$m10^{20}$	$e10^{20}$
Fe	5,15	1,60
Fe_3O_4.	2,02	0,90
Ni	3,65	1,54
Co	6,21	1,56
1. Alliage de Heusler	3,55	1,54
2. » »	4,23	2,04

Valeur moyenne : $1{,}53.10^{-20} = e$.

[1]) The absolute values of the moments of the elementary magnets of nickel and magnetite *Physical Review*, 1910, vol. XXX, p. 359.

Cette valeur de e s'accorde assez bien aux valeurs obtenues par d'autres méthodes tout à fait indépendantes. Mais P. Weiss a lui-même mesuré les intensités d'aimantation aux très basses températures; il a trouvé des déviations notables entre la théorie et l'expérience et il a découvert en même temps un diviseur commun parmi les intensités moléculaires des substances ferromagnétiques. Il a appelé cette quantité le magnéton-gramme, pour lequel il trouva la même valeur, 1123,5, pour toutes les substances. Il semble donc que le ferromagnétisme, au moins, se compose partout du même élément magnétique comme une quantité d'électricité négative est toujours un nombre entier d'électrons. M. P. Weiss trouva d'autres phénomènes qui confirmaient apparemment l'existence du magnéton commun à toutes les substances paramagnétiques. Ainsi, au dessus de la température critique, la susceptibilité paramagnétique de Fe_3O_4 montre des discontinuités comme fonction de la température et les différentes portions de la courbe rectiligne donnent lieu à une nouvelle détermination du magnéton. Il est surprenant que P. Curie n'ait pas trouvé ces discontinuités. En outre, il est possible que la constitution chimique de ce cristal change à ces températures élevées. Ensuite P. Weiss a appliqué l'équation

$$C_m = \chi_m T = \frac{\sigma_{m_0}^2}{3r}$$

aux dissolutions de substances paramagnétiques contenant du fer et à un grand nombre de sels solides. Quant aux solutions, il a été démontré par Koenigsberger et Meslin, que le coefficient moléculaire de l'aimantation des substances dissoutes est une fonction de la concentration, du moins pour quelques exemples, de sorte qu'il devient nécessaire d'examiner des solutions ou infiniment diluées ou très concentrées, étude dont les résultats ont déjà été publiés dans ce journal. Voici les nombres donnés par P. Weiss :

10,41	30,09	26,99	20,04
21,89	25,99	28,94	12,12
21,96	27,11	29,19	20,16
24,04	27,91	21,23	20,16
28,03	27,69	25,05	—
27,93	28,83	17,97	—

Il est à remarquer qu'on peut déplacer la virgule d'un chiffre à gauche et l'on trouve encore des nombres entiers, surtout dans la seconde série avec une seule exception. En outre le nombre des magnétons par molécule est plutôt élevé et il n'est pas très surprenant qu'en divisant par exemple 32.400 de $FeCl_3$ par 1123,5, on trouve un nombre approximativement entier tel que 28,83 ou 2,88. A la vue des nombres très élevés des dernières colonnes on se demande pourquoi ces substances sont si faiblement magnétiques, même aux basses températures, tandis que le nickel, qui est fortement magnétique, ne possède que trois magnétons. Enfin les nombres donnés par P. Weiss sont basés sur la supposition que l'aimantation des sels purs et des solutions varie d'après la loi de Curie jusqu'au zéro absolu. Pour autant que je puis le savoir, cette supposition n'a pas encore été vérifiée par des expériences. Mais, récemment, Auguste Piccard [1] a déterminé, avec une haute précision, la susceptibilité de l'oxygène à 20° C., et il a trouvé pour l'unité de masse la valeur

$$\chi = 1{,}0568.10^{-4}\,.$$

En admettant la loi de Curie jusqu'au zéro absolu, il trouve pour le moment de l'atome

$$\sigma = 7{,}8725.10^{3}\,,$$

et en divisant cette valeur par le moment du magnéton-gramme 1123,5, on obtient le nombre entier 7,007. Or, il a été démontré par des expériences de H. Kamerlingh Onnes et A. Perrier qu'aux basses températures, la susceptibilité de l'oxygène change d'après la loi

$$\chi_{\text{liq}} = \frac{2284}{\sqrt{T}}\,10^{-6}\;; \qquad \chi_{\text{sol}} = \frac{1690}{\sqrt{T}}\,10^{-6}\,,$$

c'est-à-dire que la susceptibilité spécifique change plus lentement en fonction de la température que ne l'indique la loi de Curie. Si cette substance élémentaire n'est pas d'accord avec la loi de Curie, de pareilles déviations pour les sels solides et

[1]) *Arch. Sc. phys. et nat.*, 1913, t. XXXV, p. 480.

pour les solutions sont très probables. En même temps, le nombre des confirmations de l'existence du magnéton de P. Weiss est considérablement réduit. En tout cas, le nombre des magnétons semble varier dans l'atome d'un élément seulement comme le nickel qui contient 3 magnétons aux basses températures, 8 aux températures élevées, 9 à la limite des alliages du nickel et du fer, 16 dans les solutions.

Pour déterminer le magnéton, P. Weiss, en abandonnant la théorie, a directement mesuré les moments moléculaires du fer, du nickel et du cobalt; Auguste Piccard, au contraire, s'est servi de la théorie pour arriver au magnéton malgré les expériences qui sont en contradiction avec la théorie. Si nous admettons cette théorie de Langevin jusqu'au zéro absolu, nous trouverons, pour le moment élémentaire de l'oxygène :

$$m = 2{,}58.10^{-20} ,$$

car

$$Nm = 15{,}745.10^{3} \qquad \text{et} \qquad N = 6{,}06.10^{23} .$$

Le moment de chaque magnéton de Weiss, au contraire, serait égal à

$$\frac{1123{,}5}{6{,}06.10^{23}} = 1{,}810^{-21} .$$

Donc, si nous déterminons les moments élémentaires au moyen de la théorie de Langevin, nous trouvons des valeurs qui varient entre $2{,}02.10^{-20}$ et $5{,}15.10^{-20}$; pour des substances aussi différentes que l'oxygène, le fer, le magnétite et les alliages de Heusler. Ces valeurs peu variables sont de l'ordre de grandeur de la valeur théorique basée sur la constante h de M. Planck. Considérons en effet un électron en révolution dans une orbite circulaire de rayon r, de vitesse v; la force vive L sera :

$$\frac{1}{2} mv^2 = \frac{m\omega^2 r^2}{2} = zhn = \frac{h\omega}{2\pi} z ;$$

$$\omega r^2 = \frac{hz}{\pi m} ;$$

z est un nombre entier. Le moment de l'électron en révolution sera

$$M = iA \; ; \qquad A = \pi r^2 \; ; \qquad i = \frac{e}{T} = \frac{e\omega}{2\pi} \; ;$$

$$M = \frac{e\omega r^2}{2} = \frac{e}{m}\frac{h}{2\pi} z \; ;$$

$$\frac{e}{m} = 1{,}77.10^7 \; ; \qquad h = 6{,}5.10^{-27} \; .$$

Mettons $z = 1$, nous aurons

$$M = 1{,}83.10^{-20} \; .$$

Dans ces conditions, nous trouvons pour le nombre n de révolutions $1{,}63.10^{15}$ en admettant pour $r = 1{,}5.10^{-8}$. Pourquoi ces magnétons ne sont-ils pas des sources lumineuses ?

On ne doit pas attribuer trop d'importance à la coïncidence approximative de la valeur $1{,}83.10^{-20}$ aux valeurs déterminées au moyen de la théorie de Langevin; car on trouve à peu près la même valeur pour le moment magnétique élémentaire sans faire usage de la quantité h, en calculant la vitesse de l'électron par l'équation

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{e^2}{r^2} \; .$$

On trouve :

$$v = 1{,}3.10^8 \; ; \qquad v = 2\pi n r \; ; \qquad n = 1{,}4.10^{15} \; ;$$

$$M = 1{,}54.10^{-20}$$

La dernière question se pose de nouveau. Ou la théorie de quantités d'énergie dans l'application ci-dessus est fausse, ou l'électron formant le magnéton a des propriétés différentes de celui des rayons cathodiques, ou le magnéton se compose de matière magnétique proprement dite. Quoiqu'il en soit, il y a certainement des magnétons, mais la question de savoir si tous les magnétons des différentes substances sont identiques ou variables ne me semble pas encore décidée.

Laboratoire de Physique, Université d'Illinois.
Urbana, 22 janvier 1915.

APPAREIL D'INDUCTION

PERMETTANT DE REPÉRER LA

POSITION DES PROJECTILES

PAR

C. CHILOWSKI

Récemment, M. le professeur Lippmann a insisté sur les services que peut rendre la balance de Hughes pour la recherche des projectiles (1). En effet, si les appareils basés sur l'induction ne peuvent fournir des renseignements aussi précis que les rayons X sur la position exacte et la forme du projectile; s'ils nous laissent dans l'ignorance des ravages causés par son passage dans l'organisme, ils ont du moins l'avantage de ne pas nécessiter d'installations coûteuses et encombrantes; de plus, ils peuvent fournir très rapidement des indications utiles; ils sont en outre d'un maniement facile et peuvent être aisément transportés.

Le dispositif qui fait l'objet de la présente note (2) est destiné

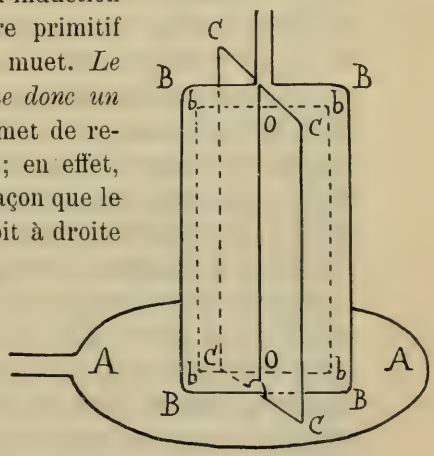
1) *C. R.*, t. 159, p. 627.

2) Nous devons mentionner que des dispositifs présentant une grande analogie avec le dispositif qui fait l'objet de cette note ont été décrits antérieurement. On trouvera particulièrement *American Journal of Scince*, 3e série, t. XXV. A. G. Bell *(An Induction Balance for detecting Metallic Masses in the Human Body)* une étude dans laquelle se trouve décrit le dispositif de deux bobines perpendiculaires l'une à l'autre; l'une étant la bobine inductrice et l'autre la bobine induite.

Mais pour diverses raisons, ces dispositifs ne paraissent pas avoir donné à leur auteur des résultats satisfaisants; nous reviendrons d'ailleurs sur les points qui caractérisent plus particulièrement notre dispositif et qui le différentient des essais antérieurs.

à permettre la détermination rapide et exacte dans bien des cas de la situation d'un projectile métallique. Il se compose d'une bobine inductrice représentée schématiquement en AA. Cette bobine est alimentée par un courant variable obtenu par exemple au moyen d'un trembleur, d'un électrodiapason ou même d'un alternateur. Perpendiculairement, au plan de cette bobine et symétriquement par rapport à elle, est disposée une seconde bobine BB ; ses extrémités sont reliées à un téléphone convenablement choisi.

Dans ces conditions, le courant de la bobine inductrice ne produit aucun son dans le téléphone. Mais si l'on place un corps métallique *dans le champ de cette bobine et en dehors du plan de la bobine BB*, les courants d'induction développés altéreront l'équilibre primitif et le téléphone cessera d'être muet. *Le plan de la bobine BB constitue donc un plan d'extinction du son* qui permet de repérer la position du projectile ; en effet, si l'on déplace l'appareil de façon que le projectile sorte du plan BB, soit à droite soit à gauche, le son est perçu immédiatement au téléphone.



D'une façon générale, trois expériences faites suivant trois orientations différentes déterminent par l'intersection de ces trois plans la position du projectile.

Mais on peut procéder plus simplement en plaçant une seconde bobine CC en série avec la première et perpendiculairement à la fois à cette dernière et à la bobine inductrice. L'intersection des deux bobines BB et CC, soit OO constitue *une droite d'extinction du son*. Lorsque le projectile se trouve dans le prolongement de cette droite, le téléphone devient muet ; s'il en sort, le son redevient perceptible. On conçoit aisément que dans ces conditions une seule observation donne la direction où se trouve le projectile, et deux observations effectuées suivant deux orientations différentes suffisent à déterminer sa position.

Généralement, le réglage initial de la position des bobines reliées au téléphone est délicat. Aussi est-il avantageux de remplacer chacune des bobines BB et CC par deux enroulements en série situés dans le même plan. L'un de ces enroulements est fixe, l'autre, *bb*, qui ne renferme qu'un petit nombre de spires, est mobile autour d'un axe O'O'. Par une légère rotation de cet enroulement, on peut rendre le son rigoureusement nul dans le téléphone avant de faire usage de l'appareil ; ce dispositif de réglage n'est représenté sur le schéma que pour la bobine BB.

Des essais préliminaires ont été organisés au Laboratoire de Physique de l'Université de Genève, sous la direction de M. le prof. C.-E. Guye, que je remercie sincèrement de son concours. Le dispositif utilisé ne comportait qu'une seule bobine induite BB *bb*. La bobine inductrice était alimentée soit par le courant continu rendu variable au moyen d'un trembleur ou d'un électro-diapason, soit par un alternateur (1200 périodes) dont dispose l'Institut. Dans ces conditions, il a été possible de repérer avec facilité la position exacte de petits objets métalliques à des distances variant de huit à trois centimètres suivant qu'il s'agissait d'objets en fer ou en bronze.

On est en droit d'espérer qu'une étude plus complète de dispositifs de ce genre conduira à la réalisation d'un appareil capable de rendre dans bien des cas des services à la chirurgie de guerre. Dans ce but nous avons poursuivi les essais en collaboration avec une maison de construction française et nous indiquerons prochainement les résultats déjà très satisfaisants auxquels ces recherches nous ont conduit, ainsi que les modifications que nous avons apportées dans l'application de notre dispositif.

LA PEROXYDASE EXISTE-T-ELLE DANS LA LEVURE DE BIÈRE

PAR

A. BACH

Le plus petit débris de la matière vivante est caractérisé par la présence de deux ferments. L'un, la *peroxydase,* accélère l'action oxydante du peroxyde d'hydrogène; l'autre, la *catalase*, enlève à ce peroxyde toute action oxydante en le décomposant en oxygène inerte et eau. On discute encore sur le rôle physiologique de ces deux ferments, mais leur ubiquité biologique est incontestable et incontestée. Il y a cependant une exception. Schönbein [1] à qui nous devons une foule d'observations très intéressantes, avait déjà relevé que la levure de bière « fait exception à la règle d'après laquelle les substances qui décomposent HO_2 à la manière du platine bleuissent aussi la teinture de gaïac additionnée de HO_2 ». Nous disons aujourd'hui : la levure contient de la catalase, mais point de peroxydase. Au cours de mes recherches sur les ferments oxydants, j'ai eu à maintes reprises l'occasion de confirmer la justesse de l'observation de Schönbein. J'ai même pu faire la preuve *a contrario* en démontrant que la plus petite quantité de peroxydase ajoutée à de la levure pouvait y être décelée au moyen des réactifs usuels [2]. En broyant 1 gr. de zymine (levure précipitée par l'acétone et ensuite séchée) avec 20 cm³ d'eau et ajoutant une

[1]) *Münch. Akad.*, 1863, 2, 100.
[2]) *Berichte*, 1906, 39, 1668.

solution de gaïacol et de l'eau oxygénée, on n'observe aucune réaction. Mais qu'on ajoute à la zymine délayée du gaïacol, 1 goutte d'une solution de peroxydase et en dernier lieu du peroxyde d'hydrogène, il se produit une coloration rouge brun due à l'oxydation du gaïacol. Cette coloration disparaît au bout d'un certain temps, mais elle apparaît de nouveau par l'addition de peroxyde d'hydrogène. L'hydroquinone et le pyrogallol donnent un résultat analogue. Par conséquent, si la levure ne donne pas à elle seule la réaction de la peroxydase, c'est parce que ce ferment fait défaut chez elle et non pas parce qu'elle renferme des substances qui masquent la réaction peroxydasique.

Dans un travail récemment publié, Harden et Zilva [1] cherchent à établir que toutes les levures contiennent une « peroxydase active ». Cette peroxydase peut être décelée directement dans les levures anglaises fraîches; dans les levures séchées, il faut éliminer au préalable les substances inhibitrices qui se forment lors de la dessication de la levure. Pour démontrer la présence de la peroxydase, les auteurs opèrent comme suit : 10 cm³ de suspension de levure (= 0g,1 de levure sèche) sont additionnés de 1 cm³ d'une solution à 1 % de p-phénylènediamine et de 1 cm³ d'une solution de peroxyde d'hydrogène (dilution à 10 % d'une solution à 3 % neutralisée au tournesol). Un essai témoin est en même temps institué avec la levure et la p-phénylènediamine sans addition de peroxyde d'hydrogène. Le fait que, dans le premier cas, le mélange prend au bout de quelques minutes une coloration violette alors que, dans le second, il reste encore inaltéré, prouve d'après les auteurs que la levure renferme une peroxydase active.

La première objection que l'on peut faire à cette intepprétation, c'est que les auteurs ont omis d'opérer des expériences de contrôle avec le ferment rendu inactif par la chaleur. Or ces expériences sont considérées comme décisives lorsqu'il s'agit d'établir si l'on se trouve en présence d'une réaction déclanchée par un ferment ou d'une réaction chimique pure et simple. En effet, rien ne prouve que la coloration violette du mélange a

[1]) *Biochemical Journal*, 1914, 8, 217.

été provoquée par l'intervention de la peroxydase et non par celle d'un autre constituant de la levure. En second lieu, il semble singulier que les auteurs se soient servis exclusivement de p-phénylènediamine pour démontrer la présence de la peroxydase et n'aient pas contrôlé leurs résultats au moyen des réactifs usuels de ce ferment. Pour ces raisons, il m'a paru intéressant d'étudier de plus près la réaction observée par Harden et Zilva.

Tout d'abord, j'ai répété leurs expériences et, comme il fallait s'y attendre, leurs observations se sont trouvées être justes. Mais des expériences de contrôle instituées avec des suspensions de levure préalablement bouillies ont donné des résultats très variables. Dans plusieurs cas, j'ai pu constater, avec la levure inactivée, un retard appréciable dans l'apparition de la coloration violette, mais elle s'est toujours produite, bien que le réactif par lui-même ne se colore pas en violet (voir plus bas). Il est donc évident que la levure bouillie et par conséquent dépourvue de ferments actifs renferme des substances susceptibles de provoquer la coloration violette d'un mélange de p. phénylènediamine et de peroxyde d'hydrogène. Dans d'autres cas, aucune différence ne pouvait être constatée entre les essais faits avec la levure active et ceux faits avec la levure inactivée. Enfin, dans quelques cas, la coloration violette s'est produite beaucoup plus rapidement dans les essais de contrôle que dans les essais principaux. Mais dans aucun cas, les levures examinées n'ont accusé la réaction de la peroxydase avec le gaïacol, le pyrogallol et l'hydroquinone en présence de peroxyde d'hydrogène. D'autre part, en ajoutant à ces levures une petite quantité de peroxydase, on a pu obtenir immédiatement les réactions caractéristiques. Tous ces résultats tendaient à faire ressortir que la réaction observée par Harden et Zilva n'était pas due à l'intervention de la peroxydase. Pour approfondir la question, il a fallu se rendre compte des conditions dans lesquelles s'opère l'oxydation de la p-phénylènediamine sous l'action du peroxyde d'hydrogène.

Lorsqu'on mélange 1 cm^3 d'une solution 0,2 normale de p-phénylènediamine pure (= 1,08 %; Harden et Zilva ont employé une solution à 1 %), 10 cm^3 d'eau et 1 cm^3 d'une solution

à 0,3 % de peroxyde d'hydrogène chimiquement pur (Merck), on constate que le mélange se colore peu à peu en jaune brun allant jusqu'au rouge brun. Mais même abandonné pendant des journées entières en vase clos, le mélange ne prend pas la moindre coloration violette. Harden et Zilva admettent sans autre forme de procès que c'est la peroxydase qui provoque la coloration violette d'un mélange de p-phénylènediamine et de peroxyde d'hydrogène. Or, ce n'est pas le cas. Traité par une goutte d'une solution très active de peroxydase longuement purifiée par ultrafiltration, le mélange de p-phénylènediamine et de peroxyde d'hydrogène ci-dessus mentionné a pris une coloration un peu plus foncée et a laissé déposer une poudre rougeâtre, mais même au bout de 48 heures, il n'a pas accusé trace de coloration violette. En présence de ce résultat inattendu, j'ai répété l'essai avec des solutions de peroxydase ordinaires et dans tous les cas sans exception, j'ai obtenu immédiatement la coloration violette. L'étude de ce phénomène a révélé que pour la formation du colorant violet, *il faut en premier lieu l'intervention d'un acide ou d'un sel acide.* Comme la solution de peroxydase purifiée par ultrafiltration présentait une réaction parfaitement neutre, on conçoit qu'elle n'ait pas provoqué la coloration violette du réactif. Mais en ajoutant au mélange une goutte d'acide acétique étendu, la coloration violette se produit instantanément. Harden et Zilva relatent que les acides retardent ou empêchent la coloration violette du mélange. Mais ceci n'est vrai que pour autant qu'il y a *excès d'acide.* Ainsi que le montrent les expériences suivantes, l'intensité de la coloration violette augmente avec la concentration de l'acide jusqu'à un maximum qui correspond presque exactement au rapport p-phénylènediamine : acide = 1 mol. : 0,5 mol. Au delà de cette limite, la coloration violette ne se produit point. Les expériences ont été effectuées comme suit :

Dans 10 tubes colorimétriques, on a versé 1 cm³ de solution 0,2 normale de p-phénylènediamine, 1 cm³ de peroxyde d'hydrogène à 0,3 %, des quantités croissantes d'acide chlorhydrique et de l'eau jusqu'à concurrence de 10 cm³. Dans la première série d'expériences, on a employé de 0,2 à 2 cm³ d'acide chlorhydrique 0,01 normal. Au bout de quelques minutes, tous

les liquides ont pris une coloration violette dont l'intensité était en raison directe de la quantité d'acide ajoutée. Pour atteindre le maximum d'intensité, la série d'expériences a été répétée avec 0,2 à 2 cm³ d'acide chlorhydrique 0,1 normal :

0,1 n. HCl :	0,2 cm³	0,4 cm³	0,6 cm³	0,8 cm³	1,0 cm³
Tubes :	I	II	II	IV	V
0,1 n. HCl :	1,2 cm³	1,4 cm³	1,6 cm³	1,8 cm³	2,0 cm³
Tubes :	XI	VII	VII	IX	X

Au bout de quelques minutes, les liquides dans les tubes I à V montraient une coloration violette de plus en plus intense, tandis que les autres tubes présentaient une coloration jaune brun allant en diminuant du tube VI au tube X. Au bout de 30 minutes, on a déterminé les intensités de la coloration violette dans les tubes I à V en laissant couler dans les tubes II, III, IV et V, au moyen d'une burette, de l'eau pure jusqu'à égalité complète d'intensité dans tous les cinq tubes. D'après les quantités d'eau ajoutées, on a calculé les intensités de coloration relatives, la coloration du tube I étant prise comme unité de comparaison. Voici les résultats obtenus :

I, II, III, IV, V	Concentrations d'acide chlorhydrique	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00
	Intensités de coloration	1,00	2,05	2,89	3,93	4,78

En concordance avec les résultats de ces expériences, le chlorhydrate de p-phénylènediamine pur ne se colore pas en violet par le peroxyde d'hydrogène. Mais si on neutralise la moitié de l'acide chlorhydride en présence par du carbonate de chaux, on voit apparaître la coloration violette. En ajoutant ensuite des quantités croissantes de carbonate de chaux, on constate que la coloration violette *diminue* en raison directe des quantités de carbonate ajoutées.

Les sels acides, même tels que les phosphates et les citrates monobasiques, produisent sur le mélange de p-phénylènediamine et de peroxyde d'hydrogène le même effet que les acides.

Les faits qui viennent d'être relatés permettent d'expliquer

complètement la réaction observée par Harden et Zilva sans qu'il soit nécessaire de recourir à l'hypothèse de l'intervention de la peroxydase. La levure de bière provoque dans un mélange de p-phénylènediamine et de peroxyde d'hydrogène une coloration violette parce qu'elle *présente une réaction acide* et non pas parce qu'elle contient de la peroxydase. Car avec les réactifs usuels de la peroxydase, elle ne donne pas, dans les mêmes conditions, la moindre réaction peroxydasique. L'influence paralysante des alcalis observée par les auteurs doit être attribuée à la neutralisation partielle ou totale de l'acidité de la levure. Mais les acides n'exercent une action paralysante que lorsque l'acidité totale dépasse le rapport p-phénylènediamine : acide = 1 mol. : 0,5 mol. Avec certaines levures, la production de la coloration violette peut être notablement accélérée par l'addition circonspecte d'acide.

Les résultats variables qui s'obtiennent dans des expériences comparatives avec des levures normales et avec les levures inactivées par la chaleur, s'expliquent également par le changement de l'acidité du milieu. Lorsqu'on chauffe à l'ébullition la levure suspendue dans l'eau, son acidité se modifie : il y a départ d'acide carbonique et une partie des acides non volatils se combine aux matières protéiques. Il en résulte une diminution de l'acidité qui a pour effet de retarder l'apparition de la coloration violette dans le réactif employé par Harden et Zilva. Il va sans dire que ce retard dépend de l'acidité initiale de la levure et de sa diminution sous l'influence de la chaleur.

Toutefois la substance de la levure n'est pas sans exercer une certaine influence sur la réaction observée par Harden et Zilva, la question de l'acidité mise à part. Mais cette influence se réduit à un phénomène d'adsorption. La levure contient notamment des colloïdes acides qui adsorbent facilement les produits d'oxydation basiques de la p-phénylènediamine et accélèrent le processus d'oxydation en rompant sans cesse l'état d'équilibre qui tend à s'établir dans le mélange. Mais un effet de tout point identique est exercé par de la soie finement divisée qui adsorbe rapidement en solution acide les produits d'oxydation de la p-phénylènediamine en se colorant en violet intense. Par contre, le coton finement divisé n'exerce aucune

influence sur la vitesse de l'oxydation de la p-phénylènediamine par le peroxyde d'hydrogène.

J'ai encore cherché à aborder le problème de l'existence de la peroxydase chez la levure par un côté tout différent. On sait que la peroxydase appartient à la classe des ferments qui se laissent facilement isoler des tissus. Il suffit d'agiter avec de l'eau n'importe quelle plante finement hachée pour obtenir aussitôt des extraits contenant de la peroxydase en solution. Par conséquent, si la levure renferme vraiment de la peroxydase, on devrait pouvoir l'extraire, en même temps que l'invertase et la maltase, des cellules préalablement désintégrées par dessication ou par traitement à l'acétone. En raison des substances inhibitrices qui passeraient abondamment dans les extraits, la peroxydase ne saurait y être décelée directement. Mais nous possédons dans l'ultrafiltration un excellent moyen pour éliminer ces substances et pour pousser très loin la purification des ferments contenus dans les extraits [1]. Il était donc intéressant de voir si les extraits de levure séchée et de zymine donnent les réactions de la peroxydase.

40 gr. d'« héfanol » (levure séchée de la fabrique A. Schröder, à Munich) ont été digérés pendant cinq jours avec 1 litre d'eau en présence de toluène, l'extrait obtenu a été séparé par le filtre et soumis à l'ultrafiltration. Le résidu colloïdal sur l'ultrafiltre a encore été lavé avec 400 cm^3 d'eau additionnée de toluène, finalement dissous dans 50 cm^3 d'eau et la solution a été filtrée sur un filtre de papier pour éliminer les portions devenues insolubles. L'examen de cette solution a révélé qu'elle contenait des quantités considérables d'invertase et de maltase, mais *pas trace de peroxydase.* Des expériences de contrôle avec addition de petites quantités de peroxydase ont démontré que la solution ne renfermait point de substances exerçant une influence inhibitrice sur la réaction peroxydasique.

Une expérience faite dans les mêmes conditions avec de la zymine a également donné un résultat négatif en ce qui concerne la présence de la peroxydase dans l'extrait.

En me basant sur les faits relatés plus haut, je crois donc

[1]) Voir A. Bach, *Berichte,* 1914, 47, 2122.

pouvoir affirmer que la levure de bière ne renferme pas de peroxydase pouvant être décelée au moyen des réactifs usuels de ce ferment, en quoi la levure diffère des autres êtres vivants. Si l'on cherche à se rendre compte de la cause de cette différence, on ne peut la discerner que dans l'*accommodation de la levure à des conditions d'existence anaérobie.* La seule fonction catalytique reconnue jusqu'ici à la peroxydase, c'est celle d'accélérer l'action oxydante des peroxydes. Ceux-ci se forment comme produits d'oxydation primaires par l'action de l'oxygène moléculaire sur des substances non saturées et par conséquent oxydables. En d'autres termes, la fonction de la peroxydase est *intimement liée à la respiration aérobie de la cellule.* Si la vie de la cellule se passe en l'absence d'air, la peroxydase devient inutile, et c'est pourquoi la cellule n'en produit pas. On conçoit donc que la peroxydase fasse défaut chez des races de levure astreintes à vivre sans air. Par contre, il n'est pas impossible que les levures vivant sous un régime mixte, partie aérobie, partie anaérobie, renferment des quantités plus ou moins appréciables de peroxydase. Pour obtenir des données sur ce sujet, il n'y a qu'un seul moyen, celui d'instituer des expériences comparées avec des cultures pures de levure haute et de levure basse. Ces expériences, j'ai pu les mener à bonne fin grâce à l'obligeance du Comité du célèbre laboratoire de Carlsberg, à Copenhague, qui a bien voulu mettre à ma disposition les cultures pures nécessaires et auquel je renouvelle ici mes sincères remerciements. Des liquides nutritifs ont été ensemencés avec ces cultures pures comme à l'ordinaire, avec cette particularité que, dans le cas des levures hautes, une expérience double a été faite dans un courant d'air stérilisé. La fermentation terminée, les moûts ont été examinés comme suit :

Essai à la p-phénylènediamine. — Après avoir bien agité les moûts, on a prélevé 10 cm^3 que l'on a traités par 1 cm^3 de p-phénylènediamine 0,2 normale et 1 cm^3 de H_2O_2 à 0,3 %.

Recherche de la peroxydase. — 10 cm^3 de moût, 1 cm^3 de gaïacol à 1 %, 1 cm^3 H_2O_2 à 0,3 %.

Recherche des substances inhibitrices.— Aux liquides résultant de l'essai précédent et demeurant incolores, on a ajouté

1 goutte de peroxydase et noté le temps qui s'est écoulé jusqu'à formation de coloration brun rouge appréciable.

Recherche de la perhydridase (ferment réducteur). — 15 cm³ de moût ont été traités par 0g,5 de nitrate de soude et 0g,2 de fluorure de sodium (pour tuer les cellules) et abandonnés au thermostat pendant 1 heure à 50°. Au bout de ce temps, le mélange a été transvasé quantitativement dans un ballon jaugé de 30 cm³, additionné de 1 cm³ d'une solution à 1 % d'acétate basique de plomb et d'eau jusqu'au trait, et le tout a été filtré sur un filtre sec. Dans la portion filtrée limpide (15 cm³), la teneur en nitrite de soude a été déterminée colorimétriquement au moyen d'α-naphtylamine et d'acide sulfanilique en solution acétique étendue.

Tous les moûts ont ensuite été filtrés, les résidus sur les filtres ont été lavés avec 200 cm³ d'eau et séchés pendant 24 heures à 35°. Les résidus séchés ont été essayés à la p-phénylènediamine et au gaïacol. Finalement les mêmes résidus ont de nouveau été lavés avec 600 cm³ d'eau pour éliminer (d'après les indications de Harden et Zilva) les substances inhibitrices qui ont pris naissance pendant la dessication de la levure, et les essais à la p-phénylènediamine et au gaïacol ont été répétés. Les résultats de toutes ces expériences sont consignés dans le tableau suivant :

Désignation des levures	Moûts fermentés				Résidus séchés		Résidus lavés	
	Essai à la p-phénylène-diamine	Essai au gaïacol (peroxydase)	Substances inhibitrices (retard en min.)	Peroxydase (milligrammes N_2O_5 dans 15 cm³)	Essai à la p-phénylène-diamine	Essai au gaïacol	Essai à la p-phénylène-diamine	Essai au gaïacol
I	+	—	6	0,003	+	—	+	—
II	+	—	incolore	0,007	—	—	+	—
III	+	—	2	0,006	—	—	+	—
A	+	—	3	0,009	—	—	+	—
B	+	—	2	0,016	—	—	+	—
C	+	—	2	0,042	+	—	+	—
A′	+	—	0	0,058	—	—	+	—
B′	+	—	0	0,093	—	—	+	—
C′	+	—	0	0,080	—	—	+	—

Désignation des levures :

Levures basses. — I. Saccharomyces monacensis Hansen.
II. » Carlsbergensis.
III. » ellipsoïdes. Levure sauvage.
Levures hautes. — A. Race II, levure de Berlin.
B. Levure haute danoise.
C. Saccharomyces validus Hansen. Levure sauvage.
Levures hautes cultivées dans un courant d'air : A′, B′ et C′.

Il résulte de ces expériences que la peroxydase n'existe pas plus chez les levures hautes que chez les levures basses. Le passage d'un courant d'air dans la culture ne change rien à cet état des choses. Il n'y a apparemment aucun rapport entre la teneur des levures en substances retardant la réaction de la peroxydase et sa teneur en perhydridase, telle qu'elle se manifeste dans sa faculté de réduire les nitrates. Toutefois, le courant d'air semble diminuer la proportion des substances inhibitrices.

Bien entendu, je suis loin de considérer ces expériences comme décisives. Bien au contraire, je suis plutôt porté à croire qu'on réussira à obtenir par des cultures systématiques dans un courant d'air, des races de levure contenant de la peroxydase. Mais ce qui est certain à l'heure actuelle, c'est que *les levures normales* ou, pour être plus précis, les levures que j'ai eu entre les mains, *ne donnent aucune des réactions de la peroxydase.*

Résumé

1. Le fait observé par Harden et Zilva, à savoir que, dans un mélange de p-phénylènediamine et de peroxyde d'hydrogène, la levure provoque une coloration violette, ne saurait être attribué à l'action de la peroxydase. Car, d'une part, des expériences de contrôle avec des suspensions de levure bouillies donnent des résultats variables et qui sont incompatibles avec l'hypothèse de l'intervention d'un ferment; d'autre part, pas une seule fois les levures examinées n'ont donné les réactions de la peroxydase avec les réactifs usuels (gaïacol, pyrogallol, hydroquinone).

2. La production de colorant violet dans l'oxydation de la

p-phénylènediamine par le peroxyde d'hydrogène n'a lieu qu'en présence d'acides. La quantité de colorant croît en raison directe de l'acidité jusqu'à une limite qui correspond presque exactement au rapport p-phénylènediamine : acide = 1 mol. : 0,5 mol. Au-delà de cette limite, le mélange ne se colore plus en violet.

3. La réaction observée par Harden et Zilva est due à l'acidité de la levure, et non pas à l'intervention de la peroxydase. Dans un mélange acidifié de p-phénylènediamine et de peroxyde d'hydrogène, la soie finement divisée accélère la formation du colorant violet de la même manière que la levure.

4. Des extraits de levure purifiés par ultrafiltration contiennent des quantités considérables d'invertase et de maltase, mais point de peroxydase.

5. Ni les levures basses, ni les levures hautes cultivées à l'état pur ne donnent les réactions de la peroxydase. On a obtenu le même résultat en cultivant les levures hautes dans un courant d'air.

Genève, mai 1915.

LES

CÉVENNES MÉRIDIONALES

(MASSIF DE L'AIGOUAL)

ÉTUDE PHYTOGÉOGRAPHIQUE

PAR

Josias BRAUN

(Suite[1])

---

10. *La hêtraie.*

(Association du hêtre).

L'Aigoual, le grand condensateur montagneux, possède de magnifiques forêts de hêtres, les plus étendues peut-être qu'on puisse trouver à pareille latitude. Nous avons eu l'occasion de voir les hêtraies des Alpes occidentales, des Pyrénées, de l'Italie du nord ; nulle part nous n'y avons rencontré de peuplements comparables aux futaies presque intactes qui couvrent les parties élevées de l'Aigoual.

Ces peuplements sont cantonnés exclusivement dans l'étage des brouillards fréquents et des précipitations abondantes (1800-2100 mm. par an). Leur limite inférieure coïncide assez bien avec le niveau inférieur où s'arrêtent les brouillards persistants en hiver, fait intéressant énoncé dès 1902 par M. Flahault. En petits bosquets et en individus isolés, l'arbre descend pourtant

[1]) Voir *Archives*, 1915, t. XXXIX, p. 72, 167, 247, 339, 415.

jusqu'à 600-800 m. environ (Vallon de Mallet où chêne vert et hêtre se coudoient; versant nord de la Luzette, Roquedols). Il atteint sa limite inférieure absolue sur le versant nord du Causse de Campestre près d'Estelle à 570 m. Les peuplements de hêtres dans la gorge du Pas de l'Ase, 630 m. doivent leur existence à une inversion des étages de végétation due au climat local.

Vers le haut, le hêtre forme ici la limite de la forêt entre 1500 et 1520 m. Il s'arrête donc à une altitude relativement basse, puisqu'il atteint 1700 m. dans les Alpes méridionales de la Suisse et, d'après M. Flahault, 1900 m. dans les Pyrénées méditerranéennes au Pic St-Barthélémy.

Un fait intéressant est l'absence en beaucoup de points d'une zone contestée (Kampfzone) au-dessus de la forêt continue. Le plus souvent la forêt cesse brusquement et parfois sa limite se détache nettement comme coupée au couteau. Les arbres se dressent s'avançant vers les crêtes en phalange serrée comparable à un mur. Si en certains points cette limite peu naturelle paraît provoquée par l'intervention de l'homme, elle nous semble ailleurs déterminée par la violence des vents. Sur les crêtes battues par le vent du nord-ouest le mode de croissance des hêtres ressemble beaucoup à celui du pin rampant des Alpes orientales. De vieux troncs tordus et noueux étalent leurs branches rampantes, s'entrelacent, formant un taillis inextricable. En quelques points très exposés leur hauteur dépasse à peine la taille de l'homme; pour traverser ces fourrés on est forcé de se glisser entre les branches. Cette zone de hêtres rabougris varie suivant l'exposition. Sur la crête entre la forêt des Oubrets et la Dauphine (1500 m.), elle atteint une largeur de dix à vingt mètres. La bande extérieure d'arbres couchés constitue un brise-vent excellent qui protège la forêt contre les attaques violentes du nord-ouest. En dehors du brise-vent protecteur, des arbres isolés par suite du déboisement, mènent une existence précaire; ils sont toujours menacés. Les jeunes pousses détruites le plus souvent du côté du vent et les branches tournées dans la direction opposée, leur donnent cette forme particulière de girouette (Windform). Faute de régénération naturelle, mutilés par les bergers, ces vétérans solitaires sont voués à la disparition; ils périssent épuisés par l'âge, brisés par le vent. Au

nord-ouest du Pic de la Fajeole on observe une série de hêtres solitaires, sans cesse en lutte contre le vent du nord-ouest auquel ils semblent vouloir échapper.

Pour reboiser les sommets les plus élevés de notre massif, il faudrait commencer à la limite actuelle des forêts sur le versant nord, élargissant peu à peu le cadre des plantations, de sorte que les jeunes arbres soient protégés par les plus âgés. Nous sommes d'ailleurs amenés à croire que la crête principale de l'Aigoual a constitué de tout temps un îlot dépourvu de végétation arborescente sous l'action des vents violents empêchant le développement des arbres. La zone non boisée semble cependant ne pas avoir été très étendue, car en construisant la route de l'Observatoire on a trouvé de vieilles souches de hêtres peu au-dessous du sommet.

Nous croyons ne pas nous tromper en fixant la limite climatique naturelle, déterminée par le vent à 1520-1530 m.

Forêt de hêtre et association du hêtre ne sont pas nécessairement des termes équivalents. Il existe des peuplements de hêtres plantés aussi bien que des jeunes taillis en voie de reconstitution, auxquels manquent les attributs de l'association définie, telle qu'elle se revèle dans les anciennes futaies. Ce sont des simples peuplements ; le fait que le hêtre domine, n'implique donc pas la présence effective de l'association. Pour cette raison, *l'étude d'une seule futaie intacte* respectée par l'homme et les animaux domestiques *nous fournit des renseignements plus précis* sur le caractère de l'association *que des listes interminables* se rapportant à des forêts ou *peuplements quelconques de hêtres.*

Nous avons étudié quatorze futaies des mieux développées des Cévennes. Quelques unes (N° 8, 9, 11, 13, 14) paraissent n'avoir jamais été exploitées par l'homme. Nos relevés proviennent des localités suivantes, toutes situées sur sol siliceux :

N° 1. Source de la Brèze, nord, 1150 m.

N° 2. Forêt des Oubrets, ouest, 1250 m.

N° 3. » de Pradals sur Dourbies, est, 1250 m.

N° 4. » de Lagre au nord du Col de Faubel, 1280 m.

N° 5. Valat de la Dauphine 1300 m.

N° 6. Petit Vallon à l'ouest de Las Fons 1320 m.

N° 7. Source de la Jonte 1330 m.

N° 8. Forêt de Laverrerie entre Lingas et Grandesc Hte 1350 m.

N° 9. Forêt de Peyrebesse près du St-Guiral, nord-ouest, 1350 m.

N° 10. Col du Prat Payrot 1420 m., nord.

N° 11. Forêt de Las Fons au nord-ouest de l'Aigoual 1450 m.

N° 12. » entre V. du Bonheur et Calcadis 1460 m.

N° 13. » des Oubrets vers côte 1564, ouest, 1480 m.; hêtres couchés.

N° 14. Crête occidentale du Grand Aigoual 1510 m., nord-ouest; hêtres couchés.

Ce qui nous frappe avant tout dans ce tableau, c'est la parfaite uniformité de la composition floristique de l'association. Partout où l'évolution n'est pas troublée, l'espèce dominante crée des conditions stationnelles sinon identiques du moins très semblables ; le sol et ses organismes, l'éclairement et la température sous la futaie, les facteurs ambiants en général ne subissent que de légères modifications locales. Dans ce cortège végétal d'une homogénéité remarquable, les espèces accessoires et accidentelles font à peu près défaut. Le nombre moyen des espèces phanérogames de la hêtraie ne dépasse pas 27 ; l'écart maximum, entre le relevé le plus faible et le plus fort est de 14. C'est une confirmation d'un axiome énoncé ailleurs: les associations dont l'espèce dominante à elle seule est capable de constituer partout où elle apparaît des conditions stationnelles spéciales, montrent dans leur composition la plus grande uniformité (autres exemples: haute tourbière, *Pinetum silvestri, Curvuletum* des Alpes, etc.).

Soulignons cependant que *le hêtre,* malgré son importance écologique, *est loin d'être l'expression exacte de l'écologie spéciale* de l'association qui porte son nom. Quelques végétaux de petite taille et à vie éphémère, *les caractéristiques de premier ordre,* nous instruisent bien mieux sur *l'unité biologique* réalisée par la hêtraie.

Les espèces caractéristiques de la hêtraie sont plus nombreuses qu'elles ne le sont dans toute autre de nos associations. Nous

NUMÈRO DU RELEVÉ		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ALTITUDE M. S. M.		1150	1250	1250	1280	1300	1320	1330	1350	1350	1420	1450	1460	1480	1510
a) *Caractéristiques de 1er ordre*															
Ch	Veronica montana	...	...	....	...	....	...	+	...	...	...	...	+	...	...
G	Corydalis cava	...	...	....	...	....	...	+	...	...	...	...	...	...	...
G	— fabacea	...	...	....	...	....	...	. .	...	...	...	+	...	...	...
G	Allium ursinum	+	...	1-10	...	1-10	...	...	...	...	...	+	...	...	...
G	Milium effusum	+	+	....	...	+	...	...	+	1-6	1-9	...	+	+	+
G	Dentaria pinnata	+	2	+	+	....	+	+	...	...	...	...	...	...	...
G	— digitata	+	...	....	...	....	+	+	...	...	...	...	...	...	...
G	Asperula odorata	+	4-8	1-10	+	1-6	+	+	6	8	4-8	1-8	1-9	+	+
G(H)	Calamintha grandiflora	+	+	....	...	....	...	...	1-7	1-4	+	...	+	+	+
G	Scilla bifolia	...	...	....	+	+	...	...	...	...	...	+	+	...	...
b) *Caractéristiques de 2e ordre*															
H	Stellaria nemorum	+	+	....	...	. . .	+	+	+	...	+	+	+	+	+
H	Festuca silvatica	+	...	....	...	....	...	...	...	...	...	...	...	...	...
G	Corydalis solida	...	...	....	+	....	...	...	...	...	...	+	+	...	...
G	Polygonatum verticillatum	...	...	....	+	....	...	...	...	+	...	+	+	...	...
P	Fagus silvatica	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	+	10	10
G	Paris quadrifolia	...	+	+	+	....	...	+	2	+	+	...	10	+	+
H	Luzula maxima	+	...	....	+	....	...	...	...	...	...	...	...	...	...
H	Galeobdolon luteum	+	+	+	+	+	+	+	3	2	+	+	+	+	+
G	Anemone nemorosa	+	+	+	...	+	+	+	+	+	+	3	1-6	+	+
H	Oxalis Acetosella	+	2	+	+	+	+	+	...	+	+	+	+	+	+
H	Blechnum Spicant	...	...	....	...	....	...	...	+	...	...	...	...	...	...
G	Adoxa Moschatellina	...	+	....	+	+	+	+	+	...	...	+	+	...	+
H	Aspidium spinulosum	+	...	+	...	....	...	...	...	...	...	+	+	+	+

H	Epilobium montanum	+	+	....	+	+	. .	+	+	+	+	...	+	+	+
H	Luzula nivea	+	+	1-6	...	+	...	+	+	+	+	+	+	...	...
G(H)	Prenanthes purpurea	+	+	+	+	+	...	+	+	2	+	+	...	...	+
G	Doronicum Pardalianches	...	+	+	...	....	...	...	...	...	+	...	...	...	...
	c) *Constantes*														
H	Viola silvatica	+	+	+	...	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
H	Adenostyles Alliariæ	...	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
H	Myosotis silvatica	...	+	+	+	....	+	+	+	...	+	+	...	...	+
G	Majanthemum bifolium	...	+	+	+	+	...	...	+	+	2	+	...	+	+
T	Mœhringia trinervia	...	+	+	...	+	+	...	+	+	+	+	+	...	...
H	Geranium Robertianum	+	+	....	+	+	+	...	+	+	+	+	...	...	...
G	Conopodium denudatum	...	+	+	+	+	+	...	...	+	+	+	...	...	...
H	Poa nemoralis	...	+	....	+	+	...	+	...	+	+	...	...	+	+
H	Athyrium Filix femina	+	...	....	...	+	+	+	...	...	2	...	+	+	+
H	Aspidium Filix mas	+	+	+	+	....	...	...	+	+	...	+	...	...	...
H	Doronicum austriacum	...	...	....	...	....	+	...	+	+	+	...	+	2	+
H	Lactuca muralis	...	+	+	+	....	...	...	+	+	+	+	...	...	...
H	Ranunculus nemorosus	...	...	+	...	....	+	...	+	+	+	...	+	...	+
H	Phyteuma spicatum	+	+	+	+	+	...	...	...	+	...	+	...	...	...
	d) *Espèces accessoires principales*														
H	Hieracium murorum	...	+	+	...	....	+	...	+	+	+	...	...	...	...
H	Melandrium diurnum	...	...	....	...	....	...	...	+	+	+	...	...	+	+
G	Polypodium Dryopteris	...	...	+	...	....	...	+	...	...	+	...	+	+	...
H	Rubus Idæus	...	...	....	...	....	...	...	+	+	+	...	...	+	...
H	Lamium maculatum	...	...	....	+	....	...	...	+	+	...	...	+	...	...
Ch	Veronica Chamædrys	...	...	....	...	+	...	...	+	+	+	...	...	...	...
	e) *Espèces accessoires*	2	0	2	0	0	0	1	0	4	2	2	1	1	4
	f) *Espèces accidentelles*	0	0	2	1	1	2	0	3	2	2	1	1	2	1
	Nombre total des espèces	24	27	28	24	23	21	22	31	35	34	28	27	23	27

comptons dix caractéristiques de premier [1], et dix-sept de second ordre ; beaucoup d'entre elles appartiennent également aux constantes. Les *Asperula odorata, Galeobdolon luteum, Oxalis Acetosella, Anemone nemorosa, Viola silvatica, Adenostyles Alliariae* ne manquent presque jamais. De grandes surfaces sont couvertes parfois d'une seule espèce, d'*Asperula odorata,* de *Calamintha grandiflora, Milium effusum, Galeobdolon, Anemone nemorosa,* tous végétaux à stolons ou souches traçantes. *Allium ursinum* et *A. Victorialis,* se propageant par des bulbes, forment également des peuplements purs.

La propagation végétative est d'ailleurs un phénomène très général dans la hêtraie. Ce mode d'adaptation permet aux végétaux de se maintenir et de se multiplier même sous un ombrage épais où la fructification ne serait plus assurée. De plus la couverture du sol, légère et meuble, aérée et fouillée par les animaux, favorise singulièrement le développement des organes souterrains notamment des stolons et souches rampantes. Vingt espèces (43 %) sont pourvus de souches rampantes :

Dentaria pinnata	*Oxalis Acetosella*
— *digitata*	*Stellaria nemorum*
Asperula odorata	*Galeobdolon luteum*
Paris quadrifolia	*Lamium maculatum*
Polygonatum verticillatum	*Veronica Chamædrys*
Majanthemum bifolium	— *montana*
Doronicum Pardalianches	*Rubus Idæus*
Anemone nemorosa	*Polypodium Dryopteris*
Calamintha grandiflora	*Milium effusum*
Adoxa Moschatellina	*Poa nemoralis* var.

Les souches dures et profondes des *Prenanthes purpurea* et *Adenostyles Alliariae* rampent également en se ramifiant et peuvent atteindre 20 cm. de longueur. *Luzula maxima, L. nivea* et *Festuca silvatica* émettent des stolons très courts. Six espèces possèdent des bulbes ; *Mœhringia trinervia* seul est annuel.

[1]) Auxquelles il faut ajouter *Neottia Nidus-avis* et *Corallorhiza innata* qui manquent à nos relevés.

Le spectre biologique se compose de :

Phanérophytes	1	=	2,0 %
Chaméphytes.....	2	=	4,0 %
Hémicryptophytes	24 (26)	=	51,5 %
Géophytes	19 (17)	=	40,5 %
Thérophytes	1	=	2,0 %

Dans ce spectre de l'ensemble floristique de la hêtraie les Hémicryptophytes dominent; mais dans le spectre des seules caractéristiques les Géophytes occupent le premier rang.

Phanérophytes.....	1	=	4 %
Chaméphytes	1	=	4 %
Hémicryptophytes.....	9 (11)	=	33 %
Géophytes.....	16 (14)	=	59 %

M. Raunkiaer classe la hêtraie parmi les associations (formations) phanérophytes, d'après l'arbre dominant. Si on veut ranger les associations selon leur formes biologiques, il est plus logique de se baser sur le spectre des caractéristiques, qui traduisent bien mieux les conditions spéciales du milieu biologique qu'une espèce, prépondérante par ses dimensions.

Le nombre des Phanérophytes est petit par rapport à l'étendue de la hêtraie. Dans la futaie évoluée nous ne remarquons guère que quelques espèces ligneuses supportant l'ombre. *Sorbus aucuparia, Lonicera nigra, L. alpigena, Sambucus racemosa, Ribes petraeum* par individus isolés, puis comme rareté *Acer platanoides.* Le hêtre, arbre intolérant, expulse en général toute autre végétal ligneux; sur les escarpements rocheux seulement, éclairés, émergeant de la forêt, on rencontre aussi quelques pieds de *Fraxinus excelsior, Ulmus montana, Tilia grandifolia,* et des arbustes comme *Rosa alpina, Ribes alpinum, Daphne Mezereum, Corylus Avellana.*

Dans la hêtraie les Bryophytes sont de peu d'importance. Dans les clairières seulement les *Hylocomium splendens, H. triquetrum, H. loreum, Antitrichia curtipendula,* etc., forment des tapis d'une certaine étendue.

Le cycle annuel de vie dans l'association du hêtre, ne coïncide pas avec les saisons astronomiques. En automne, après les grandes pluies, au moment où le hêtre entre en repos, la nouvelle période de végétation a déjà commencé. Au fond, il n'y a

jamais d'interruption complète ; sous la couverture de neige même, la vie est ralentie, mais non supprimée. En comparant l'état de la végétation au commencement et à la fin de l'hiver, on se rend facilement compte du grand développement acquis pendant la mauvaise saison par les organes végétatifs de beaucoup d'espèces.

Bon nombre gardent leurs feuilles hivernales vertes (Winterblätter) ; ainsi *Blechnum Spicant, Aspidium Filix mas, Luzula maxima, Veronica Chamaedrys, V. officinalis, Asperula odorata)*. D'autres émettent en automne de nouvelles pousses et de petites feuilles ; telles sont :

Milium effusum	*Viola silvatica*
Poa nemoralis	*Epilobium montanum*
Luzula nivea	*Myosotis silvatica*
Melandrium diurnum	*Lamium maculatum*
Ranunculus nemorosus	*Galeobdolon luteum*
Geranium Robertianum	*Doronicum Pardalianches*
Oxalis Acetosella	*Hieracium murorum*

La forte proportion de végétaux à feuilles et à pousses hivernales s'explique par la protection dont ils jouissent dans la forêt. A l'époque où la neige ne persiste pas encore, en novembre et décembre, la température du sol sous la futaie est bien plus élevée qu'en dehors d'elle sur les pelouses ; bien souvent, lorsque le sol des pâturages est gelé, la terre ne l'est pas à l'abri des hêtres.

D'autres végétaux comme *Scilla bifolia, Stellaria nemorum, Anemone nemorosa,* commencent à développer leurs feuilles en automne, sans cependant qu'elles s'aventurent à la surface du sol. Sous la couverture protectrice de feuilles mortes, on observe dès novembre des milliers de jeunes pousses blanchâtres, sans chlorophylle encore. Les fleurs de la scille se développent pendant l'hiver sous terre, elles possèdent déjà des pétales colorés, pistil et anthères, le tout enveloppé par les jeunes feuilles basilaires.

Dans la futaie de hêtre nous distinguons *trois aspects saisonniers.*

Le premier, l'aspect hivernal, dure de novembre à la fin de mars. Le second, printanier, est caractérisé par des végétaux de petite taille à évolution rapide. Des tapis d'*Anemone nemorosa* couvrent le sol ; leur teinte rose tendre se mêle au bleu vif des scilles, au rouge violacé des *Corydalis*. Le modeste *Adoxa* à petites fleurs verdâtres, *Conopodium denudatum, Myosotis silvatica, Pulmonaria affinis,* etc., s'y ajoutent un peu plus tard. Cette végétation hâtive, s'épanouissant avant la feuillaison complète du hêtre, profite ainsi des radiations lumineuses directes. La troisième phase, estivale, s'accomplit tout entière à l'ombre, dans une demi obscurité. Les organes végétatifs et le système floral prennent des dimensions considérables, (Fougères, *Adenostyles, Doronicum, Digitaria).*

La *répartition géographique de la forêt de hêtre* et de ses constituants, ont été le sujet de plusieurs études parmi lesquelles il convient de citer surtout les travaux méritoires de M. Hoeck (l. c. 1896, 1902).

Les résultats obtenus sont cependant peu comparables par ce qu'une conception uniforme et bien définie de l'association manquait et parce qu'on ne tenait pas assez compte du fait que les facteurs physiographiques et climatiques peuvent, en se combinant différemment ou en se remplaçant, produire un même effet. Une espèce caractéristique de premier ordre de l'association dans une région donnée, ne l'est peut-être plus sous d'autres conditions climatiques et édaphiques. Révéler ces changements, les expliquer à l'aide de faits corrélatifs, c'est un des problèmes de la synécologie géographique. Mais pour y réussir, la nécessité s'impose d'une conception invariable de l'association. Avant tout, la notion purement topographique de la *forêt de hêtre,* doit céder la place à la notion floristico-écologique *association du hêtre.* Nous avons déjà eu l'occasion de faire remarquer que la première n'implique pas nécessairement la seconde. Ajoutons encore que les éléments de la forêt de hêtre n'appartiennent pas tous à l'association en question. Ainsi, par exemple, bon nombre de végétaux qu'on n'observe à l'Aigoual que dans les *forêts* de hêtres n'entrent pas dans le cadre même de l'association, parce qu'ils recherchent des conditions écologiques spéciales soit d'humidité *(Carex pendula, Saxifraga*

rotundifolia, Arabis cebennensis, etc.), soit des stations rocheuses ombragées *(Streptopus, Corydalis claviculata,* etc.), soit la pleine lumière des clairières.

Souvent aussi la distinction n'est pas assez rigoureuse entre la futaie représentant l'association à son optimum et les taillis plus ou moins évolués ; les listes montrent alors un mélange des éléments normaux de la hêtraie et des espèces d'autres associations.

Partout où nous avons rencontré la hêtraie, de la mer Baltique aux Alpes et aux Pyrénées, les mêmes espèces phanérogames, à peu près, forment le cortège habituel. On n'y reconnait guère de races régionales bien distinctes. Les modifications géographiques se réduisent presque à des différences secondaires dans la composition des caractéristiques de deuxième ordre et des constantes.

Voici quelques exemples de hêtraies de pays différents.

La hêtraie des Préalpes Suisses et algaviennes (Voralberg), la mieux connue de nous, offre :

	Dentaria bulbifera		*Elymus europœus*
	— *polyphylla*	C	*Paris quadrifolia*
	Carex pilosa		*Cyclamen europœum*
C[1]	*Allium ursinum*		*Lathyrus vernus*
C	*Veronica montana*	C	*Actæa spicata*
	Anemone ranunculoides		*Lysimachia nemorum*
	Galanthus nivalis	C	*Hedera Helix*
	Leucojum vernum	C	*Mœhringia trinervia*
C	*Anemone nemorosa*	C	*Galeobdolon luteum*
C	*Scilla bifolia*	C	*Viola silvatica*
C	*Dentaria digitata*		*Cephalanthera xiphophyll.*
	Cephalanthera grandiflora		*Mercurialis perennis*
	Galium silvaticum	C	*Majanthemum bifolium*
	Sanicula europœa		*Anemone Hepatica*
C	*Corydalis cava*	C	*Oxalis Acetosella*
	Viola mirabilis	C	*Prenanthes purpurea*

[1] C = apparaissent aussi dans la hêtraie de l'Aigoual. Les espèces sont classées, autant que possible, suivant l'importance qui leur est attribuée pour caractériser l'association.

C *Asperula odorata*
C *Polygonatum multiflorum*
Luzula pilosa
C *Neottia Nidus-avis*
C *Corallorhiza innata*
C *Milium effusum*
C *Luzula nivea*
Carex silvatica
C *Stellaria nemorum*
C *Lactuca muralis*
C *Hieracium murorum*
C *Phyteuma spicatum*
C *Poa nemoralis*

Dans plusieurs hêtraies du Jura occidental, nous avons noté :

Isopyrum thalictroides
Leucojum vernum
C *Dentaria pinnata*
C — *digitata*
Anemone ranunculoides
C *Polygonatum multiflorum*
C *Corydalis solida*
C *Anemone nemorosa*
C *Scilla bifolia*
C *Asperula odorata*
C *Melica uniflora*
C *Viola silvatica*
Carex digitata
C *Galeobdolon luteum*
Carex silvatica
Elymus europæus
Lathyrus vernus
C *Prenanthes purpurea*
C *Festuca silvatica*
Arum maculatum
C *Oxalis Acetosella*
C *Lactuca muralis*
C *Aspidium aculeatum*
C *Geranium Robertianum*
C *Phyteuma spicatum*
Taxus baccata, etc.

Les quelques restes de futaies observés dans les Pyrénées fournissent :

C *Dentaria pinnata*
C *Dentaria digitata*
C *Asperula odorata*
C *Allium ursinum*
C *Neottia Nidus-avis*
C *Anemone nemorosa*
Lysimachia nemorum
C *Melica uniflora*
C *Galeobdolon luteum*
C *Paris quadrifolia*
C *Oxalis Acetosella*
C *Majanthemum bifolium*
C *Stellaria holostea*
C *Ranunculus nemorosus*
C *Lactuca muralis*
C *Melandrium diurnum*
C *Geranium Robertianum*
C *Prenanthes purpurea*
C *Sambucus racemosa*
C *Sorbus aucuparia*
C *Galium rotundifolium*
Anemone Hepatica
Mercurialis perennis
Sanicula europæa

C	*Rubus Idæus*		*Carex digitata*
C	*Mœhringia trinervia*	C	*Poa nemoralis*
C	*Polygonatum verticillatum*		*Daphne Laureola*

Partout où le hêtre domine, il a créé des conditions écologiques similaires, raison principale de l'uniformité du cortège dans les différentes régions.

La distinction de *deux races principales de l'association du hêtre* paraît possible cependant dès aujourd'hui. Plusieurs satellites du hêtre ont une répartition nettement *méridionale* et ne dépassent pas vers le nord la latitude de Paris et de l'Allemagne moyenne. Tels sont: *Calamintha grandiflora, Doronicum Pardalianches, D. austriacum, Dentaria digitata, D. pinnata, Geranium nodosum, Luzula nivea,* et dans les Alpes orientales: *Dentaria polyphylla, D. trifolia, Anemone trifolia.* La *race* de l'Europe *septentrionale* contraste avec la race méridionale par sa pauvreté en éléments spéciaux. Nous n'en pouvons nommer que deux: *Scilla non scripta,* s'avançant vers le sud-est jusque dans le centre de France et *Gagea spathacea* des Pays-Bas, de la Belgique, de l'Allemagne du Nord, de Scandinavie.

M. Raunkiaer (l. c. 1909 p. 61) donne la liste floristique de sept hêtraies du Danemark, dont l'âge varie entre soixante-dix et cent ans. Bon nombre des caractéristiques et des constantes de la hêtraie cévenole y réapparaissent, aucune caractéristique spéciale aux pays septentrionaux ne s'y montre. En voici les principaux éléments:

C	*Asperula odorata*	C	*Viola silvatica*
C	*Corydalis fabacea*	C	*Oxalis Acetosella*
C	*Anemone nemorosa*	C	*Majanthemum bifolium*
C	*Stellaria nemorum*	C	*Lactuca muralis*
	Anemone ranunculoides	C	*Rubus Idæus*
C	*Milium effusum*	C	*Poa nemoralis*
C	*Allium ursinum*	C	*Ficaria verna*
C	*Melica uniflora*		*Sanicula europaea*
C	*Stellaria holostea*		*Gagea lutea,* etc.

Dans le massif de l'Aigoual il est facile de poursuivre l'*ontogenèse* de la hêtraie, grâce aux acquisitions de l'Etat, en vue de

reboisement de grands territoires autrefois déboisés et dévastés par les moutons. Partout où l'évolution naturelle n'est pas troublée, la futaie se reconstitue d'elle même et à mesure que les arbres grandissent, à mesure que l'ombre devient plus épaisse et que l'humus s'accumule, les espèces envahissantes qui couvraient le sol, des arbrisseaux comme la bruyère *(Calluna)*, les genêts *(Genista pilosa, G. purgans)*, la myrtille *(Vaccinium Myrtillus)*, ou des Graminées *(Nardus, Deschampsia flexuosa)* disparaissent peu à peu et sont remplacés par les caractéristiques de l'association du hêtre.

Les premiers stades de la succession diffèrent suivant la nature des terrains en reconstitution (landes, pacages, terre nue, etc.); nous devons nous borner à donner ici un exemple.

La reconstitution comprend deux phases. La première, la suppression des végétaux héliophiles, est dominée par un facteur climatique : la lumière ; la seconde, par l'édaphisme. A l'ombre des arbres le sol s'enrichit de matières organiques. C'est alors qu'apparaissent les caractéristiques.

Dans les jeunes taillis clairiérés et pâturés le *Nardetum* alterne souvent avec des peuplements de *Vaccinium Myrtillus* ou un tapis de *Festuca rubra;* aucune bonne caractéristique ne s'y rencontre. Les premiers compagnons du hêtre apparaissent dans les taillis d'une trentaine d'années. En voici un exemple pris aux sources de l'Hérault (1420 m.) :

1-4	*Vaccinium Myrtillus*	2	*Nardus stricta*
3-4	*Deschampsia flexuosa*		*Festuca rubra*
	Gentiana lutea		*Anthoxanthum odoratum*
	Sorbus aucuparia.		*Anemone nemorosa*
	Majanthemum bifolium		*Prenanthes purpurea*

Tout près, dans les mêmes conditions, mais sous des arbres un peu plus âgés, nous observons déjà :

Asperula odorata	*Luzula nivea*
Myosotis silvatica	*Hieracium murorum*

Nous entrons dans la futaie d'une cinquantaine d'années. Ici

il n'y a plus de *Vaccinium,* plus de Graminées formant tapis, plus de *Gentiana lutea.* A leur place les Géophytes *Anemone nemorosa* et *Asperula odorata* forment des peuplements ; avec eux surgissent : *Scilla bifolia, Adoxa, Galeobdolon luteum, Polygonatum verticillatum, Oxalis Acetosella.* Cependant l'association ne trouve son développement maximum que sous la futaie centenaire ; il est marqué par la présence des *Digitaria, Stellaria nemorum, Veronica montana, Neottia Nidus-avis, Milium effusum,* etc. Dans son étage préféré et au milieu de son aire, il faut donc à peu près un siècle pour la reconstitution de l'association climatique primitive.

11. *Association à* Adenostyles Alliariæ.

(*Adenostyletum*).

Dans les ravins ombragés de l'étage du hêtre, le long des ruisseaux, et sur un sol léger, saturé d'humidité, on rencontre fréquemment une végétation exubérante de haute taille, dont le feuillage couvre entièrement le sol. Ce cortège fuit la lumière vive et recherche l'ombre des profondeurs fraîches de la forêt. *Adenostyles Alliariae (A. albifrons)* aux feuilles énormes, aux tiges fortes, prédomine le plus souvent. *Doronicum austriacum* épanouit ses grandes capitules dorés à côté des ombelles blanches du *Chaerophyllum hirsutum.* Des colonies denses de *Ranunculus aconitifolius* alternent avec les touffes des Fougères au feuillage finement découpé. A cet ensemble s'ajoutent parfois les thyrses lilacés de l'élégant *Arabis cebennensis* spécial aux montagnes siliceuses du centre de la France.

La répartition verticale de l'adenostylaie coïncide avec celle de la hêtraie (1050-1450 m.).

Nous en avons pris les relevés suivants :

N° 1. Vallon du Bonheur 1200 m., nord, pente découverte.

N° 2. Ginestous 1260 m., ravin.

N° 3. Valat de l'Hérault 1290 m., ravin.

N° 4. Montagne d'Aulas 1310 m., nord, bord du ruisseau.

N° 5. Valat de la Dauphine 1310 m., clairière humide.

N° 6. Forêt des Oubrets 1330 m., exposition nord-ouest.

N° 7. Valat de la Dauphine 1350 m., sources.

N° 8. Forêt des Oubrets 1380-1400 m., ravin profond.

N° 9. » » » 1430 m., partie supérieure, nord-ouest.

NUMÉRO DU RELEVÉ	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ALTITUDE M. S. M.	1200	1260	1290	1310	1310	1330	1350	1380	1430
a) *Caractéristiques de 1er et 2e ordre*									
H Arabis cebennensis	...	...	...	...	+	2	...	+	+
H Chærophyllum hirsutum ..	+	...	+	+	1-10	+	+	+	+
H Adenostyles Alliariæ.....	1-8	10	10	10	1-10	7	8	6	+
H Imperatoria Ostruthium ..	...	...	...	...	....	...	...	+	...
H Doronicum austriacum ...	1-6	+	...	+	+	+	+	+	+
H Athyrium Filix femina ...	...	+	+	...	+	4	2-8	5	+
H Epilobium spicatum.....	...	...	...	...	....	...	...	+	...
b) *Constantes*									
H Ranunculus aconitifolius..	1-8	...	+	...	1-10	+	+	+	+
H Luzula nivea.....	+	+	...	+	+	...	+	+	+
H Epilobium montanum	...	...	+	+	+	+	...	+	+
H Urtica dioica.....	...	...	—	+	+	2	...	2	+
H Rubus Idæus.....	...	...	+	...	+	2	...	2	...
c) *Espèces accessoires*									
H Poa nemoralis.....	...	+	+	+	....	...	...	+	...
H Melandrium diurnum.....	+	...	...	...	+	...	...	...	+
H Cirsium palustre.....	...	...	+	...	+	...	...	...	+
H Aspidium Filix mas.....	...	+	...	+	....	...	...	+	...
G Polypodium Phegopteris ..	...	...	...	...	....	...	+	...	+
H Geum urbanum	...	...	...	...	+	...	...	+	...
H Ranunculus nemorosus ...	...	...	...	+	+	...	...	...	...
d) *Espèces ± accidentelles*	8	3	5	5	12	6	3	6	4

Parmi les caractéristiques l'*Arabis cebennensis* mérite une mention spéciale. Elle croît dans tous les ravins de la forêt des Oubrets, formant parfois des fourrés épais, hauts de plus d'un mètre. Elle se montre, mais plus rare, dans le vallon du Bonheur, dans la vallée supérieure de l'Hérault et de la Jonte entre 600 et 1430 m. En dehors du plateau central on ne la connaît pas dans sa forme typique ; une sous-espèce habite les Basses-Alpes et le Piémont.

Tandis que la composition floristique la rapproche de la hêtraie, l'écologie de l'*Adenostyletum* en est bien différente ; c'est une association essentiellement hémicryptophyte. Les

Géophytes, si répandus dans la futaie de hêtre y manquent à peu près. Aussi le spectre biologique est-il très simple. Il se compose de :

18 Hémicryptophytes, et
1 Géophyte.

Dans la morphologie externe, les espèces essentielles de l'association à *Adenostyles Alliariae* présentent une grande uniformité. Les organes assimilateurs et transpiratoires acquièrent de grandes dimensions, ils sont glabres ou peu velus, parfois luisants *(Arabis cebennensis, Imperatoria, Epilobium montanum.*

La station ombragée et humide favorise l'accroissement des tiges qui dépassent souvent un mètre de hauteur. L'enracinement est en général fort, épigéique, à monopode pivotant ou à racines fibreuses. Le sol moins meuble que dans la hêtraie empêche le développement des Géophytes à rhizomes et à stolons.

L'adenostylaie des Cévennes a son pendant dans les Alpes. Elle y est encore mieux développée. En voici un exemple provenant du Stäzerhorn (Grisons) 1700 m. d'altitude :

6	*Adenostyles Alliariæ*	5	*Mulgedium alpinum*
4	*Imperatoria Ostruthium*	2	*Aconitum Napellus*
3	*Ranunculus aconitifolius*	2	— *Lycoctonum*
	Chærophyllum hirsutum		*Calamagrostis villosa*
	Melandrium diurnum		*Geum rivale*
	Veratrum album		*Senecio nemorensis*
	Rumex arifolius		*Geranium silvaticum*

Ce peuplement est consécutif à la coupe de l'*Alnus viridis.*

G. Groupe d'associations d'arbres résineux (eurasiatiques).

12. *Association du pin sylvestre.*

(Pineraie).

Le pin sylvestre, l'unique résineux spontané des Cévennes méridionales [1], est entièrement cantonné sur le versant atlantique. Il fuit visiblement la sécheresse de l'été méditerranéen

[1]) Quelques bouquets de sapins existent sur les pentes du Mont Lozère.

et n'apparaît que sur les contreforts montagneux des Alpes, des Pyrénées et des Cévennes. On ne le connaît pas à l'état spontané dans la plaine languedocienne ; dans le département de l'Hérault, Loret et Barrandon ne le citent que d'une seule localité, le sommet du Méguillou à Saint-Martin d'Orb sur la bordure cévenole.

Dans la plaine rhodanienne on l'observe pour la première fois au sud de Montélimar en mélange avec le chêne pubescent ; mais son aspect tortueux et rabougri témoignent qu'il se trouve ici à la limite de son extension possible.

Le pin sylvestre s'adapte facilement à des conditions très diverses ; son aire s'étend du seuil méditerranéen jusqu'au nord de la Laponie (70° l. b.); il s'élève jusqu'à 2200 m. environ dans les Alpes et les Pyrénées. Son développement est aussi vigoureux sous les climats continentaux que sous le régime atlantique modéré. Aussi est-il capable de se maintenir et de gagner du terrain aux dépens du chêne blanc, du hêtre, de l'épicéa, partout où les conditions édaphiques ou locales contrarient le développement de ses concurrents. Dans les Cévennes, sa répartition coïncide en partie avec celle du chêne blanc ; les deux essences alternent sans qu'il nous soit possible d'en déterminer la raison. Devant la phalange compacte de notre hêtraie le pin sylvestre, strictement héliophile, s'arrête et les peuplements mixtes : hêtre et pin sylvestre se rencontrent rarement (Bramabiau sous Coupiac, le Grand bois à Saint-Sauveur).

Quant aux exigences de l'arbre à l'égard du sol, des opinions contradictoires ont été émises. Lecoq (l. c. 1854) dit qu'il fuit le calcaire et ne s'y montre jamais. St. Lager (l. c. 1853) est du même avis ou peut s'en faut. Dans la quatrième édition de la flore forestière de Mathieu (l. c. 1897) M. Fliche, tout en acceptant la manière de voir de Mathieu qui le considère comme indifférent, pense que les calcaires et argiles compactes ne lui conviennent pas ; telle serait la raison de son absence dans le Jura français.

A notre avis, les conditions du sous-sol ne sauraient être décisives. Nous avons observé de belles forêts de *Pinus silvestris* sur sol calcaire compact en Suisse, dans les Alpes occidentales et les Pyrénées.

		CÉVENNES							SUISSE
	NATURE DU SOUS-SOL	CALCAIRE					SILICEUX		CALCAIRE
	NUMÉRO DU RELEVÉ	1	2	3	4	5	6	7	8
	ALTITUDE M. S. M.	950	980-1000	980-1030	1050	1000-1080	750-800	1050	650-750
	a) *Caractéristiques de 1er ordre*								
H	Pirola chlorantha	+	+	....	+	....	+	....	+
H	Goodyera repens	+	....	....	....	...	+	+	+
H	Pirola secunda	....	+	+	2-5	....	....	+	+
H	— uniflora	+	+	....	0-4	+	....	....	+
G	Monotropa Hypopitis	+	+	+	....	....	....	+	+
T	Melampyrum pratense *var.* chrysanthum Beauv	+	....	....	....	....	....	....	....
	b) *Caractéristiques de 2e ordre*								
G	Epipactis rubiginosa	....	....	+	....	+	....	....	....
G	Carex alba	....	....	....	....	+	....	....	1-10
G	Gymnadenia odoratissima	....	....	....	....	+	....	....	....
H	Carex digitata	....	+	....	....	+	....	....	+
Ch	Arbutus uva ursi	....	...	....	....	1-8	....	....	....
G	Epipactis microphylla	....	+	....	....	....	....	....	....
P	Pinus silvestris	9	9	7-8	8	8-10	9	10	8-10
H	Galium rotundifolium	+	+	....	....	+	+	....	....
G	Convallaria majalis	+	....	....	....	+	....	....	+
G	Platanthera chlorantha	....	+	....	+	+	....	....	....
H	Cirsium bulbosum	+	+	+	....	+	....	....	....

	c) *Constantes*								
P	Vaccinium Myrtillus	0-10	4	....	....	0-8	0-10	0-10	....
P	Buxus sempervirens	....	4	5	....	0-8	....	....	....
P	Quercus sessiliflora	+	+	+	+	+	+	+	....
P	Juniperus communis	+	+	....	+	+	+	+	....
P	Viburnum Lantana	+	+	+	....	+	....	....	+
P	Lonicera Xylosteum	+	+	....	+	+	....	....	+
P	Ilex Aquifolium	+	....	....	+	+	+	....	....
H	Hieracium murorum	+	+	+	....	....	+	+	+
H	Anemone Hepatica	+	+	+	+	2	....	....	+
H	Viola silvatica	+	+	....	....	+	+	+	+
Ch	Veronica officinalis	+	+	....	....	+	+	+	+
H	Deschampsia flexuosa	+	+	....	....	+	....	+	....
H	Pimpinella Saxifraga	+	+	+	+	....	....	....	....
H	Polygala calcarea	....	+	+	+	+	....	....	....
G	Anemone nemorosa	+	+	....	....	+	+	....	....
Ch	Genista hispanica	....	+	+	3-4	+	....	....	....
G	Cephalanthera grandiflora	....	+	+	+	....	....	....	+
	d) *Accessoires principales*								
P	Corylus Avellana	+	....	....	....	+	....	....	+
P	Cytisus sessilifolius	+	....	....	+	+	....	....	....
P	Daphne Mezereum	....	....	....	+	+	....	....	+
P	— Laureola	....	+	....	+	+	....	....	....
H	Lathyrus vernus	....	+	....	....	+	....	....	+
H	Viola arenaria	+	....	....	....	+	....	....	....
H	Fragaria vesca	+	....	....	....	+	+	....	....
H	Campanula persicifolia	....	....	+	....	+	....	....	....
G	Epipactis latifolia	....	....	+	....	+	....	....	+
H	rOunella grandiflora	+	....	+	....	....	....	....	+
H	Carlina acanthifolia	....	+	....	+	+	....	....	....
G	Listera ovata	....	+	....	+	....	....	....	+
G	Orchis maculata	....	+	....	+	....	....	....	+
H	Aquilegia vulgaris	....	+	....	....	+	....	....	+

Dans l'Aveyron il forme des bois nombreux, parfois étendus sur les Causses calcaires et dolomitiques, notamment sur le Causse noir et le Causse de Séverac. Il descend près de Millau à 380 m. et s'élève à 1300 m. sur les basaltes de l'Aubrac (comm. de M. Coste). Les forêts étendues de pin sylvestre dans le massif de l'Aigoual, sont également situées presque toutes sur les terrains calcaires des petits Causses. L'arbre n'y dépasse guère 1200 m. vers le haut et descend jusque dans le bas des vallées atlantiques (600-700 m.) Il y recherche de préférence les pentes exposées au nord, cédant les versants chauds au chêne blanc. Mais comme ce dernier, il change de station à mesure qu'on se déplace vers le nord. En Suisse, par exemple, il est cantonné dans les contrées les plus sèches où il peuple les versants chauds et les terrains pierreux-graveleux, pauvres, comme les alluvions récentes des torrents.

L'exploitation des forêts de pins sylvestre alimente une grande scierie à Meyrueis. Beaucoup d'arbres sont exportés comme poteaux télégraphiques, pour le transport de l'électricité, etc.

La composition floristique de la vieille futaie, l'association bien développée, ressort des sept relevés de notre tableau, provenant :

N° 1. Cime de la Côte sur Roquedols 950 m., sol Ca et Si, nord.

N° 2. Gorge de Bramabiau 980-1000 m., grès triasique, nord.

N° 3. Vallon de Villemagne 990-1030 m., Ca, ouest, peuplement peu dense.

N° 4. Camprieu-Coupiac 1050 m., Ca, incliné vers le nord.

N° 5. Vallon en face de Gatuzières 1000-1080 m., Ca, nord.

N° 6. Entre Roquedols et Ferrussac 750-800 m., Si, nord-est.

N° 7. Château de Coupiac 1050 m., Si, haut plateau.

J'ajoute comme terme de comparaison un relevé pris en Suisse (Fürstenwald près de Coire 650-750 m., sur sol riche en Ca).

Un grand nombre de caractéristiques et de constantes des pineraies sont exclusivement limitées aux terrains calcaires : tels sont :

Carex alba	*Convallaria majalis*
Gymnadenia odoratissima	*Cirsium bulbosum*

Epipactis rubiginosa	*Viburnum Lantana*
— *microphylla*	*Cytisus sessilifolius*
Arbutus Uva ursi	*Genista hispanica*
Polygala calcarea	*Pimpinella Saxifraga,*

ainsi que beaucoup d'éléments accessoires. Par contre, aucune espèce essentielle des pineraies siliceuses ne manque dans les futaies calcaires.

Le riche développement du sous-bois et du tapis herbacé dû aux rayons lumineux qui traversent facilement les branches effilées de l'arbre offre un contraste frappant avec la hêtraie. *Vaccinium Myrtillus* forme souvent des peuplements continus aux endroits où les pins ne sont pas trop serrés ; dans les mêmes conditions *Buxus sempervirens* devient parfois dominant. Des individus maigres de *Quercus sessiliflora* et le *Juniperus communis* ne manquent jamais. Ça et là s'observent *Viburnum Lantana, Lonicera Xylosteum,* et même *Ilex Aquifolium,* sclérophylle atlantique qui recherche l'humidité athmosphérique.

Le tapis herbacé est tantôt une lande d'*Arbutus Uva ursi* (forêt de Gatuzières) ou de *Genista hispanica,* tantôt un tapis de mousses ou une mosaïque de végétaux divers. Si l'ombre est trop épaisse, le sol reste nu ; mais c'est là que se plaît le curieux *Monotropa,* saprophyte sans chlorophylle. D'autres végétaux sont rares ; on y recueille à peine quelques pieds de *Conopodium denudatum,* de *Deschampsia flexuosa,* quelques *Pirola,* ou dans une touffe de mousse le gracieux *Goodyera repens.*

Le spectre biologique de la pineraie comprend :

12 Phanérophytes
3 Chaméphytes
20 Hémicryptophytes
12 Géophytes
1 Thérophyte

Par son spectre la pineraie se rapproche de la hêtraie. L'ombre, quoique moins profonde que dans celle-ci, ainsi que la couche épaisse d'aiguilles se décomposant très lentement, excluent les Thérophytes. Au contraire, les Géophytes trouvent

dans le terrain meuble des conditions favorables à leur développement. Toutefois les Géophytes à tubercules sont plus fréquents, ceux à rhizomes, prédominant dans la hêtraie, reculent au second rang.

Au point de vue de l'affinité floristique les pineraies des Cévennes ont des rapports incontestables avec nos taillis de chênes blancs.

Dans les régions où le pin sylvestre confine à l'épicea, les deux associations, qui d'ailleurs ont une écologie semblable, se confondent plus ou moins dans leur zône de pénétration réciproque, sans pourtant s'identifier (Finlande, Suède boréale, Suisse). Si presque toutes les caractéristiques de la pineraie se retrouvent dans la forêt d'épicea, la plupart y sont rares; quelques unes y font à peu près complètement défaut *(Pirola umbellata, P. chlorantha, Epipactis microphylla)*. D'autre part les *Listera cordata, Luzula flavescens, Lycopodium annotinum, L. clavatum, Galium triflorum,* etc., semblent liés dans une certaine mesure à l'épicea et au sapin.

Pirola chlorantha, P. uniflora et *Goodyera repens* peuvent être considérés comme réactifs les plus sensibles des pineraies du centre de la France et de l'Europe occidentale en général. Dès 1854 Lecoq cite les deux *Pirola* comme végétaux les plus remarquables de forêts de pins de la Haute Loire. Dans le Forez où les trois espèces sont très rares, Legrand (l. c. 1873) les signale « dans un bois de pins près de Châtelneuf, devenus fort rares aujourd'hui et relégués plus bas dans un bouquet de pins, qui sans doute aussi ne sera plus longtemps debout ». Dans les Cévennes également, elles ne se montrent que dans les vieilles pineraies et disparaissent après la coupe.

Pour les bois de pins de l'Allemagne centrale M. Drude (l. c. 1902) relève les *Pirola chlorantha, P. secunda, Pirola umbellata, Monotropa;* pour ceux des Alpes autrichiennes M. Nevole (l. c.) cité avec les *Gymnadenia odoratissima, Epipactis rubiginosa, E. latifolia,* etc., les *Goodyera, Monotropa* et *Pirola secunda*. D'après M. Lindberg fil., les *Pirola umbellata* et *chlorantha* sont des caractéristiques de premier ordre, *Goodyera, Pirola secunda, Lycopodium complanatum* de deuxième ordre des pineraies de la Finlande (comm. verb.).

Dans la forêt clairiérée se développe une pelouse souvent continue à *Bromus erectus, Brachypodium pinnatum,* etc., ornée de végétaux héliophiles étrangers à la pineraie elle même. Ce sont les steppes silvatiques de M. Beauverd (l. c. 1912) pénétration de deux associations, pelouse et forêt, due à la physiographie locale. Cette association mixte recherche les pentes ensoleillées à sol pauvre et sec, rocheux ; elle couvre les déclivités chaudes du bas Valais jusqu'au pied du Simplon (vallon de Ganter) ; dans les Cévennes on la rencontre rarement.

La reconstitution des bois de pins est le plus souvent provoquée ou tout au moins accélérée par des plantations étendues ; soit de pins sylvestres, soit de pins de montagne *(Pinus montana)* ou de pins d'Autriche *(P. Laricio* ssp. *austriaca).* Les phases parcourues par ces peuplements se ressemblent beaucoup ; on peut les examiner en bloc.

Le premier stade, consécutif à la destruction de la forêt, présente deux modifications, suivant qu'il s'agit d'une forêt abattue ou incendiée. Dans le premier cas, le sous-bois prend tout de suite un développement énorme, étouffant en grande partie la végétation herbacée. Dans le second, des espèces annuelles et bisannuelles couvrent d'abord le sol d'un tapis presque continue. *Rumex Acetosella* domine le plus souvent ; *Digitalis purpurea, Verbascum Thapsus* en colonies nombreuses, frappent l'œil par leur haute taille et l'éclat très vif de leurs inflorescences. *Teesdalia nudicaulis, Veronica Dillenii, Sinapis Cheiranthus, Ornithopus perpusillus* et d'autres Thérophytes poussent en grand nombre. Ce premier stade, d'une durée de quelques années, est suivi par la lande à genêts (ou à Myrtilles). A ce moment intervient généralement la plantation de jeunes arbres. Par leur accroissement, ils contrarient de plus en plus le développement des autres végétaux ; la place et la lumière faisant défaut, une à une les plantes du sous-bois disparaissent. Dans les aménagements serrées de quinze à vingt ans, on ne rencontre plus que quelques individus élancés et toujours stériles de *Vaccinium Myrtillus* ou de *Genista pilosa.* Le sol étant ainsi préparé, les caractéristiques de la pineraie commencent à se montrer, d'autant plus vite et plus nombreuses que d'anciennes futaies se trouvent plus près des reboisements. Ainsi, dans une

jeune plantation de pins d'Autriche d'environ vingt-cinq ans entre Saint-Sauveur et Villemagne, au centre du périmètre de reboisement, nous avons pu constater :

Pirola secunda — *Epipactis rubiginosa*
Monotropa Hypopitis — — *latifolia*
Cephalanthera grandiflora

Les plantations du même arbre aux environs d'Ayres, vallée de la Jonte, plus âgées, mais à plusieurs kilomètres des forêts naturelles les plus proches, n'avaient acquis que l'*Epipactis rubiginosa* et quelques espèces de moindre importance *(Viola silvatica, V arenaria)*. Le pin sylvestre s'y est réensemencé spontanément.

Dans une plantation peu étendue (de cinquante ans environ) entre Le Rey et Saint-André-de-Majencoules (500 m.), nous avons observé le *Monotropa* dont la localité la plus voisine est à 16 kilomètres en ligne droite, au-delà de la chaîne de faîte. Les dimensions minuscules de la graine de cette Pirolacée, favorisent singulièrement leur dispersion par le vent. Elle se rencontre également à Valgarnides près de Dourbies, parmi des pins, plantés il y a trente à quarante ans, en société du *Goodyera repens*. Les graines des deux espèces ont dû être apportées par le vent du nord, de leurs stations de Coupiac-Saint-Sauveur, à travers la montagne du Suquet.

H. Groupe d'associations des landes a genêts et a bruyères.

13. *Landes à* Sarothamnus *et* Genista purgans.

(Sarothamnetum).

Entre 400 et 1300 m. environ des grandes surfaces du massif siliceux sont couvertes par les genêts calcifuges *Sarothamnus scoparius* et *Genista purgans*. Le premier occupe avec une rapidité surprenante les terrains délaissés de l'étage inférieur ; le second commence à se montrer dans les mêmes conditions entre 500 et 600 m. pour dominer dans les landes au-dessus de 800 m.

L'étendue énorme des landes à genêts est une conséquence directe de l'économie rurale, en particulier du régime pastoral extensif. Comme la garigue à *Quercus coccifera,* elles constituent la végétation consécutive à la destruction des forêts et leurs principaux éléments sont des espèces envahissantes. Une fois installées, il est extrêmement difficile de s'en défaire. Le moyen le plus souvent appliqué, l'incendie des peuplements, constitue un danger sans être efficace. Dès la première année après l'opération, des végétaux annuels envahissent le terrain. A la Poujade sur Bréau (450 m.) nous avons noté les Thérophytes suivantes:

7-8	*Rumex Acetosella*	*Filago arvensis*
7-8	*Ornithopus perpusillus*	*Cerastium glomeratum*
2	*Mibora verna*	— *brachypetalum*
2	*Spergula pentandra*	*Teesdalia nudicaulis*
2	*Helianthemum guttatum*	*Myosotis versicolor*
2	*Veronica Dillenii*	*Senecio lividus,*

les Géophytes: *Scilla autumnalis* et *Gagea saxatilis* avec quelques autres espèces.

Mais déjà les souches du *Sarothamnus* et de l'*Erica cinerea,* incomplètement détruites par le feu, repoussent de nouveau.

Les endroits découverts, les clairières et lisières des bois, les escarpements rocheux et les éboulements sont la station normale, primitive de ces genêts. Ils ont envahi maintenant la plupart des châtaigneraies non irriguées et tous les terrains siliceux déboisés et abandonnés. Cet état déplorable provient surtout de la facilité avec laquelle ces arbustes se multiplient et du fait que le bétail n'y touche pas. Plus elles prospèrent, plus s'appauvrit la végétation herbacée recherchée avidement par les moutons. Aussi la lande pâturée est-elle d'une pauvreté désolante pour l'agriculteur et pour le botaniste.

Les déclivités du Suquet près de Dourbies, nous en donnent un exemple frappant. Certains endroits y sont couverts de peuplements serrés de *Genista purgans,* trop denses pour laisser passer les rayons lumineux. La végétation herbacée y est à peu près nulle. Ces terres improductives pourraient certainement donner un meilleur rendement à la condition d'être reboisées,

soit en châtaigniers et chênes blancs dans les parties basses, soit en pins sylvestres et hêtres dans les parties supérieures.

On utilise le *Genista purgans* et le *Sarothamnus* comme litière, pour le chauffage et pour la confection de balais. Dans la vallée supérieure de la Dourbie, on pratique encore l'écobuage; on brûle le genêt et après un labour superficiel on cultive du seigle et des pommes de terre. Au bout de quelques années ces champs sont abandonnés et les genêts s'empressent d'en reprendre possession.

Il est à peu près impossible de définir un type fixe de landes à genêts. Les associations naturelles auxquelles elles se sont substituées sont très diverses ; de plus le pâturage intense trouble constamment la composition floristique. Leur flore, très hétérogène, est d'une trivialité déconcertante et même des peuplements de genêts presque exclusifs ne sont pas rares [1].

Par place on rencontre au milieu des landes de vastes surfaces envahies par le *Pteris aquilina.* Ce sont des terrains incendiés où le genêt n'a pas, ou pas encore, repoussé. Ces peuplements de Fougères, très répandus dans la montagne siliceuse, montent jusqu'à 1300 m. (Grandesc-Haute).

En raison de leur grande étendue, les landes à *Sarothamnus* et à *Genista purgans* possèdent du moins quelques espèces qui, sans manquer ailleurs, y atteignent leur plus grande extension et leur optimum de développement. Tels sont :

Orobanche Rapum Genistæ	*Teucrium Scorodonia*
Arenaria montana	*Jasione montana*
Senecio lividus	*Viola montana*
— *silvaticus*	*Mœnchia erecta*
Adenocarpus complicatus	*Galium pedemontanum*

Pour donner une idée de la composition floristique hétérogène des landes à *Sarothamnus,* nous ajoutons ici deux relevés, le premier (à gauche) de Pratcoustal sur Arphy (450 m., sud), le second du Caumel près les Fons (1100 m.).

[1] A leur ombre parfois quelques mousses se plaisent: *Dicranum scoparium*, *Stereodon cupressiforme*, *Bartramia pomiformis*, *Scleropodium purum*, etc.

10 *Sarothamnus scoparius*	9-10 *Sarothamnus scoparius*
Mœnchia erecta	*Adenocarpus complicatus*
Myosotis versicolor	*Orobanche Rap. Genistæ*
Viola tricolar var.	*Teucrium Scorodonia*
* *Jasione montana*	* *Jasione montana*
Genista purgans	*Calluna vulgaris*
* *Hypochœris radicata*	* *Hypochœris radicata*
* *Thymus Serpyllum*	* *Thymus Serpyllum*
Anthoxanthum odoratum	*Erica cinerea*
Conopodium denudatum	*Pteris aquilina*
Luzula campestris	*Silene italica*
Galium Mollugo	*Clinopodium vulgare*
Rumex Acetosella	*Tunica prolifera*
Saxifraga granulata	*Scabiosa Columbaria*
Cerastium triviale	*Agrostis vulgaris*
Lotus corniculatus	*Euphrasia lutea*
Festuca rubra	*Sedum rupestre*
Veronica arvensis	*Holcus lanatus*
Ornithopus perpusillus	*Aira caryophyllea*
Senecio adonidifolius	*Andryala sinuata*
Hieracium Pilosella, etc.	*Crucianella angustifolia*

Quatre espèces (*) seulement sont communes aux deux listes et deux d'entre elles sont des ubiquistes.

Les peuplements de *Genista purgans* qui remplacent les landes à *Sarothamnus* vers le haut, se distinguent comme échelon supérieur par la présence de quelques éléments montagnards comme *Vaccinium Myrtillus, Sinapis Cheiranthus, Luzula spicata,* etc. Ils choisissent les *expositions chaudes des déclivités abruptes rocheuses.*

Dans le bassin supérieur du Tarnon, aux environs de Cabrillac surtout, les mamelons déboisés et soumis au pâturage sont couverts par l'*Erica cinerea.* La flore de ces peuplements les rattache étroitement aux landes à genêts, avec lesquelles ils partagent l'origine anthropo-zoogène. Vu de l'Aigoual au moment de la floraison, cette contrée d'habitude si désolée, présente alors un charme particulier ; elle est comme noyée dans une mer de pourpre. L'administration forestière a racheté une

grande partie des terrains improductifs à *Erica cinerea* et les a reboisés.

14. *Landes à* Calluna *et* Genista pilosa.

(*Calluneto-Genistetum*).

Calluna vulgaris et *Genista pilosa* auxquels s'ajoutent souvent les *Genista sagittalis, G. anglica* et *Vaccinium Myrtillus* couvrent également de grandes surfaces de l'étage du hêtre. Leur installation est également consécutive au déboisement ; livrée à elle même, la végétation forestière reprendrait possession de son domaine. Nous en avons des exemples au Grand Aigoual et aux environs de Dourbies. Mais l'administration forestière intervient en général pour obtenir un résultat plus rapide en y plantant des pins et d'autres résineux.

Les landes à *Calluna* et *Genista pilosa* ont leur optimum de développement *au-dessus de 1200 m.* au niveau des brouillards fréquents, où elles choisissent les *versants exposés aux pluies.* Souvent on observe des stades de transition entre ces landes et l'association à *Deschampsia flexuosa,* qui d'ailleurs se transforme fréquemment en *Calluneto-Genistetum,* si l'évolution peut se poursuivre normalement. Le cortège floristique, d'autant plus uniforme que les *Genista* et *Calluna* prédominent, a beaucoup d'affinités avec le *Deschampsietum flexuosi.* Comme caractéristiques de deuxième ordre, ayant leur plus grande extension dans ces landes nous pouvons citer :

Genista pilosa	*Achillea Millefolium*
— *sagittalis*	*Dianthus silvaticus* (rare)
— *anglica*	*Galium asperum* var. *montan.*
Potentilla opaca	

On se rend facilement compte de la pauvreté relative de ces peuplements en les comparant à ceux des Vosges, qui outre la plupart de nos espèces possèdent *Empetrum nigrum, Lycopodium clavatum, alpinum, complanatum, Euphrasia* spec., etc. (cf. Issler, l. c. 1909).

Voici deux exemples de nos landes à *Calluna* et *Genista :*

a) *Vallon du Montet sur Dourbies (1150 m.), pâturé.*

Ch-P	10	*Calluna vulgaris*	*Ch*	*Antennaria dioica*
Ch-P	2-3	*Genista pilosa*	*Ch*	*Hieracium Pilosella*
Ch-P	2	*Vaccinium Myrtillus*	*Ch*	*Plantago carinata*
Ch-P	1	*Juniperus communis*	*H*	*Hypochœris maculata*
H		*Achillea Millefolium*	*H*	*Saxifraga granulata*
H		*Potentilla verna*	*H*	*Nardus stricta*
H		*Viola canina*	*H*	*Senecio adonidifolius*
H		*Lathyrus montanus*	*H*	*Anthoxanthum odoratum*
G		*Carex verua*	*H*	*Polygala vulgaris*
H		*Luzula campestris*	*H*	*Ranunculus nemorosus*
H		— *spicata*	*H*	*Leucanthemum vulgare*
Ch		*Thymus Serpyllum*	*Ch*	*Alchemilla saxatilis*

b) *Versant sud de l'Aigoual sur l'Hort-de-Dieu (1410 m.), non pâturé.*

Ch-P	10	*Calluna vulgaris*	*H*	*Luzula campestris*
Ch-P	1-2	*Genista pilosa*	*H*	*Betonica officinalis*
Ch	1	— *sagittalis*	*H*	*Deschampsia flexuosa*
Ch-P	2	*Vaccinium Myrtillus*	*H*	*Serratula monticola*
H		*Achillea Millefolium*	*G*	*Narcissus Pseudonarcissus*
H		*Potentilla Tormentilla*	*H*	*Festuca spadicea*
H		*Galium montanum*	*H*	*Dianthus monspessulanus*
H		*Lathyrus montanus*	*H*	*Galium verum*
G		*Carex verna*	*G*	*Tulipa Celsiana*
			H	*Festuca rubra*

Par son spectre biologique aussi cette association se rapproche de celle à *Deschampsia flexuosa,* avec cette différence que les Chaméphytes-Phanérophytes y prédominent numériquement, et non les Hémicryptophytes.

Dans les clairières de la forêt de hêtres et sur les pentes fraîches à faible éclairement *Vaccinium Myrtillus* colonise le sol riche en humus.

Les landes à *Calluna,* extrêmement répandues dans les terrains siliceux de la France centrale et occidentale, dépendent rigoureusement des climats humides, océaniques. En approchant des contrées continentales, sèches, leur développement est moins vigoureux, les peuplements sont moins compacts et

finalement d'autres arbustes prennent leur place. Il en est ainsi dans le midi méditerranéen et dans les Alpes. Sous le régime pluvieux du versant sud des Alpes, ces landes descendent jusqu'à 400-500 m. autour des lacs insubriens. Au contraire, à l'intérieur, dans les vallées continentales du Valais et des Grisons, il faut monter jusqu'aux étages subalpin et alpin pour les rencontrer. Dans le midi de la France, les peuplements à *Calluna* et à *Genista* atteignent une extension énorme sur les plateaux du Minervois et de l'Espinouze, contreforts occidentaux des Cévennes, soumis déjà à l'influence des courants atlantiques. La forêt primitive de hêtre y a été détruite presque partout. « Des sommets des mamelons d'où sortent les sources de l'Agout, on ne découvre autour de soi qu'une surface ondulée uniformement couverte de bruyères ou de genêts » (Flahault, l. c. 1893).

Ajoutons à titre de comparaison un exemple d'une lande à *Calluna* observée dans les Préalpes bergamasques (Val Varrone, Prov. di Como) à 700 m. d'altitude :

7-9	*Calluna vulgaris*	*Carex pilulifera*
	Erica arborea	*Anthericum Liliago*
	— *carnea*	*Viscaria vulgaris*
	Genista germanica	*Potentilla rupestris*
	Sarothamnus scoparius	— *Tormentilla*
	Juniperus communis	*Peucedanum Oreoselinum*
	Frangula Alnus	*Vincetoxicum officinale*
	Pteris aquilina	*Teucrium Scorodonia*
	Festuca capillata	*Melampyrum pratense*
	Brachypodium pinnatum	*Hypochœris maculata*
	Anthoxanthum odoratum	— *radicata*
	Hieracium murorum ssp. *tenuiflorum*	

En résumé, nous pouvons dire qu'il est impossible de réunir tous les peuplements de *Calluna* en une seule association. On s'en rendra compte en comparant la liste de M. Raunkiaer (l. c. 1909, p. 117) de différents facies du Danemark avec nos relevés. Un exemple de plus où l'espèce dominante ne marque pas partout la même association !

(A suivre).

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES AUX

FORTIFICATIONS DE SAINT-MAURICE

PENDANT LES MOIS DE

Septembre, octobre et novembre 1914

(AUTOMNE 1914)

OBSERVATIONS DIVERSES

Septembre 1914

Brouillard. — *Brouillard pendant une partie de la journée:* les 10 et 29 à Dailly; le 29 à l'Aiguille.

Neige sur le sol : le 21 à Dailly et à l'Aiguille.

Octobre 1914

Brouillard. — *Brouillard pendant une partie de la journée:* les 8, 19 et 20 à Dailly; les 8 et 19 à l'Aiguille.

Neige sur le sol : les 29 et 31 à Dailly et à l'Aiguille.

Tremblement de terre : le 26, à 4 h. 47 m. du matin.

Novembre 1914

Brouillard. — *Brouillard pendant une partie de la journée:* les 17 et 25 à Dailly et à l'Aiguille.

Neige sur le sol : le 1 et du 13 au 24 à Dailly; du 1 au 3 et du 13 au 26 à l'Aiguille.

Fœhn : du 21 au 22 aux deux stations inférieures.

MOIS DE SEPTEMBRE 1914

Jours du mois	Baromètre Hauteur moyenne Savatan	Baromètre Hauteur moyenne Dailly	Thermomètre Température moyenne Savatan	Thermomètre Température moyenne Dailly	Hygromèt. Fraction de saturation moyenne Savatan	Hygromèt. Fraction de saturation moyenne Dailly	Nébulosité moyenne Lavey	Nébulosité moyenne Savatan	Nébulosité moyenne Dailly	Pluie et Neige (hauteur mesurée) Lavey Pluie	Lavey Neige	Savatan Pluie	Savatan Neige	Dailly Pluie	Dailly Neige	Aiguille Pluie	Aiguille Neige
	mm.	mm.	°	°	%	%				mm.	cm.	mm.	cm.	mm.	cm.	mm.	cm.
1	709.2	664.1	+18.8	+15.6	74	58	0	0	1	...	...	...	....	....	....	....	....
2	709.6	665.0	17.5	15.4	88	68	3	3	0	....	....	....	....	....	....	....	....
3	709.6	664.6	18.7	**17.0**	76	42	0	0	1	....	....	....	....	....	....	....	....
4	706.5	662.4	**18.8**	16.7	75	31	0	3	1	....	....	....	....	....	....	....	....
5	704.9	660.3	17.5	16.1	85	78	8	6	7	4.3	...	8.6	....	4.7	....	4.5	...
6	707.5	662.1	16.3	15.3	81	65	1	2	0	....	....	....	....	....	....	....	...
7	708.2	663.2	17.1	15.1	77	46	5	1	5	....	....	....	....	....	....	....	....
8	706.2	661.6	17.9	14.9	63	38	8	5	8	0.2	....	....	...	1.2	....	0.9	....
9	704.2	659.9	16.4	13.1	87	57	9	8	9	0.3	....	0.5	....	0.2	....	0.3	....
10	707.0	661.4	15.0	12.4	79	58	3	6	9	....	....	....	....	....	....	....	....
11	707.6	661.2	16.0	12.7	79	46	6	7	5	14.5	....	15.5	....	17.4	....	16.9	....
12	706.2	659.1	11.9	10.7	71	55	9	10	8	5.0	....	5.5	....	6.1	....	6.4	....
13	703.5	656.3	12.4	10.1	71	59	9	7	10	4.8	....	4.3	....	5.4	....	5.5	....
14	706.7	659.8	12.2	10.3	75	41	8	7	8	0.5	....	....	....	0.5	....	0.4	....
15	706.4	660.5	15.3	14.0	69	38	3	0	1	....	....	....	....	....	....	....	....
16	706.7	661.4	17.8	15.1	**56**	**20**	2	2	3	....	....	....	....	....	....	....	...
17	705.3	660.8	15.8	12.4	70	55	7	10	7	4.7	....	5.2	...	5.5	....	5.4	....
18	703.6	659.3	11.3	8.6	64	61	4	7	5	0.2	....	....	....	0.2	....	0.1	....
19	**700.7**	**653.8**	8.7	6.2	80	57	10	10	10	13.2	....	**25.2**	....	**25.5**	....	**25.3**	....
20	702.3	655.2	6.4	2.9	89	77	10	9	10	**18.7**	....	16.5	....	5.4	**2**	5.5	**4**
21	706.0	657.9	**5.9**	**1.9**	78	**96**	9	9	9	....	....	....	....	0.4	....	0.4	...
22	708.2	660.4	8.3	4.9	63	59	3	4	4	....	....	....	....	....	....	....	....
23	709.3	662.7	8.1	4.4	65	57	0	2	1	....	....	....	...	...	....	....	....
24	710.0	663.2	8.9	6.0	75	72	0	1	0	....	....	....	....	....	....	....	....
25	708.7	662.2	9.3	5.8	87	91	3	3	0	....	....	....	....	....	....	....	....
26	709.2	663.4	9.3	8.1	**90**	45	0	1	1	....	....	....	....	....	....	....	....
27	**711.1**	**665.2**	11.6	10.3	73	26	1	0	0	....	....	....	....	....	....	...	....
28	708.5	662.2	10.8	10.4	70	44	6	6	4	....	....	....	....	0.1	....	0.2	....
29	706.6	660.2	11.0	6.8	67	65	7	7	8	....	....	....	....	0.4	....	0.2	....
30	709.2	662.9	+ 7.9	+ 6.2	78	43	0	0	0	....	....	....	....	....	....	....	....
Mois	706.96	661.07	+13.09	+10.64	75	55	4.5	4.5	4.5	66.4	....	81.3	....	73.0	2	72.0	4

MOYENNES DU MOIS DE SEPTEMBRE 1914

Pression atmosphérique

	Savatan				Dailly			
	7 h. m. mm.	1 h. s. mm.	9 h. s. mm.	Moyenne mm.	7 h. m. mm.	1 h. s. mm.	9 h. s. mm.	Moyenne mm.
1re décade ...	707.52	707.22	707 18	707.31	662.69	662.33	662.35	662.46
2me » ...	704.37	705.08	705 28	704.91	658.87	658.87	658.50	658.75
3me » ...	708.50	708.53	709.00	708.68	661.69	661.98	662.37	662.01
Mois..	706.80	706.94	707.15	706.96	661.09	661.06	661.07	661.07

Température

	7 h. m. °	1 h. s. °	9 h. s. °	Moyenne °	Minim. moyen °	Maxim. moyen °
Savatan						
1re décade ...	+15.12	+19.73	+17.32	+17.39	+13.8	+20.9
2me » ...	11.63	14.22	12.47	12.77	9.3	15.8
3me » ...	6.89	10.60	9.86	9.15	5.2	12.9
Mois..	+11 21	+14.85	+13.22	+13.09	+ 9.4	+16.5
Dailly						
1re décade ...	+13.53	+17.16	+14.80	+15.16	+12.1	+18.8
2me » ...	9 76	12.01	9.09	10.29	7.3	13.6
3me » ...	4.42	9.08	5.92	6 47	3.3	10.8
Mois..	+ 9.24	+12.75	+ 9.94	+10.64	+ 7.6	+14.4

Fraction de saturation en %

	Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
1re décade ...	88	73	75	79	66	48	48	54
2me » ...	78	66	73	72	54	45	53	51
3me » ...	88	67	69	75	75	44	61	60
Mois ..	85	69	72	75	65	46	54	55

Nébulosité

	Lavey				Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
1re décade ...	3.3	4.5	3.4	3.7	3.2	4.3	2.9	3.4	3 5	4.9	3.8	4.1
2me » ...	6.7	6.4	7.2	6.8	7.3	7.3	6.1	6.9	7.0	6.7	6.2	6.7
3me » ...	2.6	3.6	2 4	2.9	3.2	4.8	1.6	3.3	2.8	3.7	2.0	2.7
Mois..	4.2	4.8	4.3	4.5	4.6	5.5	3.5	4.5	4.4	5.1	4.0	4.5

MOIS D'OCTOBRE 1914

Jours du mois	Baromètre Hauteur moyenne Savatan	Baromètre Hauteur moyenne Dailly	Thermomètre Température moyenne Savatan	Thermomètre Température moyenne Dailly	Hygromét. Fraction de saturation moyenne Savatan	Hygromét. Fraction de saturation moyenne Dailly	Nébulosité moyenne Lavey	Nébulosité moyenne Savatan	Nébulosité moyenne Dailly	Pluie et Neige (hauteur mesurée) Lavey Pluie	Lavey Neige	Savatan Pluie	Savatan Neige	Dailly Pluie	Dailly Neige	Aiguille Pluie	Aiguille Neige
	mm.	mm	°	°	%	%				mm.	cm.	mm.	cm.	mm.	cm.	mm.	cm.
1	710.6	664.3	+10.7	**+10.0**	82	37	0	0	0	....	....	....	....	....	....	....	....
2	708.6	663.1	**12.7**	9.5	73	50	3	5	2	....	..	....	....	....	...	....	....
3	710.8	**664.6**	10.8	7.9	83	49	1	1	2	....	....	....	....	....	....	....	....
4	**710.9**	663.5	9 9	7.8	82	60	0	0	4	....	....	....	....	....	....	....	....
5	709.0	662.5	9.4	5.5	78	67	8	5	9	....	...	0.5	....	0.7	....	0.9	....
6	707.0	660.3	8 5	5.5	78	71	6	7	7	....	....	....	....	1.5	....	1.4	....
7	707.1	660.6	8.7	5.5	78	64	5	3	4	....	....	....	....	....	....	....	....
8	709.5	661.6	5.1	5.4	97	71	7	7	3	....	....	....	....	....	...	....	....
9	707.4	660.1	6.5	7.3	91	49	2	5	0	....	....	...	....	....	....	....	....
10	702.3	655.5	7.7	6.0	81	61	8	5	3	9.8	....	13.0	....	19.4	....	19.2	....
11	700.6	655.3	6.6	4.4	83	64	9	7	5	....	....	....	....	....	....	....	....
12	704.2	656.9	6.0	4 5	80	45	1	3	3	....	....	....	....	....	....	....	....
13	703.0	657.3	8.3	8.3	62	22	2	1	1	....	....	....	....	....	....	....	....
14	700.4	657.0	8.5	8 5	77	**11**	9	8	6	....	....	....	....	....	....	....	....
15	704.0	658.0	11.6	8.8	**49**	18	6	5	5	....	..	....	....	....	....	....	....
16	703.8	657.8	11.1	9 1	77	24	7	8	8	....	....	....	....	....	....	....	....
17	701.7	656.0	9.7	8 2	90	55	9	9	7	3.2	....	5.0	....	4 3	....	4.2	....
18	703.1	656 7	9.3	6.3	97	97	9	10	10	1.7	....	1.0	....	3.9	....	3.7	....
19	704.3	657.8	9.1	5.8	90	100	9	10	10	0.6	....	0.4	....	0.2	....	0 4	....
20	704.1	658.0	9.7	5.6	86	100	10	10	10	....	....	....	....	....	....	....	....
21	702.1	656.6	8.9	5.8	89	69	5	5	5	....	....	....	....	....	....	....	....
22	702 6	657.4	8.8	7.7	67	32	2	0	4	....	....	....	....	....	....	....	....
23	702.9	657.5	8.7	7.9	78	30	10	10	10	2.2	....	1.8	....	1.6	....	1.5	....
24	703.6	657.6	8.9	7.5	96	57	10	10	10	1.8	....	1.5	....	1.6	....	1.5	....
25	706.1	659.2	9.2	8.1	98	61	5	5	7	....	....	0.4	....	0.2	....	0.3	....
26	704.1	658.4	9.5	7.4	83	50	9	9	7	....	....	....	...	0.1	....	0.1	....
27	702.7	656.2	8.7	5.9	73	62	6	5	3	...	....	....	....	....	....	....	....
28	696.2	652 5	6.7	6.2	78	73	9	9	7	14.5	....	13.5	....	15.6	3	15.9	4
29	688.9	642.7	4.6	2.8	95	81	9	10	8	3.5	....	6 0	....	5.9	...	5.7	....
30	**686.4**	**641.0**	8.9	3.8	75	75	10	10	10	**24.0**	....	**31.0**	....	**33.6**	**4**	**34.1**	7
31	692.4	644.3	+ **4.3**	+ **1.9**	**99**	93	10	10	10	8.0	....	9 0	....	6.2	2	6.2	**9**
Mois	703.25	657.11	+ 8.62	+ 6.61	82	58	6.3	6.2	5.8	69.3	....	83.1	....	94.8	9	95.1	20

MOYENNES DU MOIS D'OCTOBRE 1914

Pression atmosphérique.

	Savatan				Dailly			
	7 h. m. mm.	1 h. s. mm.	9 h. s. mm.	Moyenne mm.	7 h. m. mm.	1 h. s. mm.	9 h. s. mm.	Moyenne mm.
1re décade ...	708.78	708.08	708.12	708.33	661 97	661.38	661.51	661.62
2me » ...	702.74	702.86	703.20	702.93	656.94	657.12	657.16	657.07
3me » ...	698.95	698.82	698.99	698.92	653.30	653.04	652.78	653.04
Mois..	703 34	703.11	703.30	703.25	657.27	657 05	657.01	657.11

Température.

	Savatan					
	7 h. m. °	1 h. s. °	9 h. s. °	Moyenne °	Minim. moyen °	Maxim. moyen °
1re décade ...	+ 6.83	+10 99	+ 9 20	+ 9.01	+ 5.7	+12.2
2me » ...	7.78	10.36	8.82	8.99	5.6	11.0
3me » ...	7.05	9.29	7.46	7.93	5.1	10.2
Mois..	+ 7.22	+10.18	+ 8.46	+ 8.62	+ 5.5	+11.1
	Dailly					
1re décade ...	+ 5.20	+10.10	+ 5.82	+ 7.04	+ 4.1	+11.8
2me » ...	5.65	8.77	6.41	6.94	4.6	10.7
3me » ...	4 84	7.49	5 40	5.91	3.5	9.0
Mois..	+ 5.22	+ 8.75	+ 5.86	+ 6.61	+ 4.1	+10.4

Fraction de saturation en %

	Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
1re décade ...	94	76	76	82	72	40	62	58
2me » ...	82	76	79	79	58	48	56	54
3me » ...	84	82	89	82	67	55	64	62
Mois..	86	78	82	82	66	48	60	58

Nébulosité.

	Lavey				Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
1re décade ...	5.2	3.9	2.9	4.0	4.0	4.6	2.7	3.8	4.6	3.0	2.7	3.4
2me » ...	7.0	6.2	7.9	7.1	7.8	7.2	6.2	7.1	6.8	6.5	6.2	6.5
3me » ...	8.3	7.6	7.3	7.7	7.8	8.0	7.1	7.5	7.8	6.7	7.5	7.4
Mois..	6 9	6.0	6.0	6.3	6.6	6.6	5.4	6 2	6.5	5.4	5.6	5.8

MOIS DE NOVEMBRE 1914

Jours du mois	Baromètre Hauteur moyenne Savatan	Baromètre Hauteur moyenne Dailly	Thermomètre Température moyenne Savatan	Thermomètre Température moyenne Dailly	Hygromét. Fraction de saturation moyenne Savatan	Hygromét. Fraction de saturation moyenne Dailly	Nébulosité moyenne Lavey	Nébulosité moyenne Savatan	Nébulosité moyenne Dailly	Pluie et Neige (hauteur mesurée) Lavey Pluie	Lavey Neige	Savatan Pluie	Savatan Neige	Dailly Pluie	Dailly Neige	Aiguille Pluie	Aiguille Neige
	mm.	mm.	°	°	%	%				mm.	cm.	mm.	cm.	mm.	cm.	mm.	cm.
1	694.1	**615.7**	+ 7.5	+ 5.4	62	54	3	5	7	....	....	....	....	....	....	....	....
2	698.6	651.2	8.0	8.1	90	21	8	5	8	....	....	....	....	....	....	....	....
3	700.6	654.7	**9.9**	9.2	80	21	6	8	9	..	....	....	....	....	....	....	....
4	698.3	653.1	9.3	**9.4**	95	22	10	7	9	2.0	....	2.2	....	2.2	....	2.4	....
5	698.5	653.0	9.2	7.6	100	62	10	9	8	....	....	....	....	....	....	....	....
6	700.0	653.6	8.5	7.0	91	45	6	6	2	....	....	....	....	....	....	....	....
7	704.5	657.2	6.5	4.7	86	63	6	5	3	....	....	....	....	....	....	....	....
8	708.1	658.4	7.7	3.7	69	66	5	8	8	....	....	....	....	....	....	....	....
9	709.8	652.6	5.1	4.4	67	25	0	0	1	....	....	....	....	....	....	....	....
10	710.1	**663.0**	4.8	6.4	67	8	0	0	0	....	....	....	....	....	....	....	....
11	708.7	660.4	6.6	5.9	86	9	0	1	1	4.5	....	4.0	....	4.0	....	4.6	....
12	703.4	656.0	4.0	+ 0.3	83	57	10	9	9	6.7	....	7.0	....	5.2	2	5.9	3
13	703.7	655.3	3.7	- 0.3	71	89	6	9	9	1.0	....	2.0	....	4.3	2	4.2	2
14	793.5	646.4	2.2	0.0	96	98	8	10	10	17.0	....	19.8	....	**22.1**	6	**22.5**	7
15	697.6	651.0	2.9	0.0	70	66	5	7	3	13.5	....	9.5	....	11.9	5	12.1	6
16	**691.9**	646.5	1.9	+ 1.1	100	85	10	10	10	**26.0**	....	**23.0**	...	19.8	**13**	19.9	**13**
17	701.2	653.2	+ 1.9	- 2.1	85	100	10	10	9	1.1	....	2.3	....	5.2	4	5.3	4
18	706.4	657.2	- 2.2	- 5.8	57	98	6	5	6	....	....	....	....	0.1	....	0.4	1
19	706.2	657.1	- **5.5**	- 7.3	49	40	0	1	1	....	....	....	...	....	....	....	....
20	701.4	653.6	- 3.7	- **7.6**	33	23	5	1	4	...	....	....	....	....	....	....	....
21	698.6	650.3	- 0.1	- 0.5	**28**	15	5	5	9	....	....	....	....	....	....	....	....
22	693.3	646.4	+ 2.0	+ 2.5	69	19	8	9	8	....	...	....	....	....	....	...	....
23	695.0	647.3	0.8	2.3	93	76	10	9	8	1.5	....	3.2	....	1.7	2	1.8	3
24	698.7	650.8	+ 3.7	+ 0.3	91	100	10	10	10	0.5	....	1.0	....	....	....	....	....
25	702.4	653.6	- 0.5	- 4.5	82	100	9	10	8	...	....	....	....	..	....	....	....
26	705.7	657.5	+ 0.7	- 1.2	53	49	0	0	1	....	....	....	....	....	....	....	....
27	708.6	660.0	1.2	+ 1.8	49	19	5	5	3	....	....	....	....	....	....	....	....
28	709.2	660.2	1.4	0.9	67	29	0	0	3	....	....	....	....	....	....	....	....
29	**711.2**	662.0	2.7	2.3	41	12	2	4	6	....	....	....	....	....	....	....	....
30	710.4	662.2	+ 6.4	+ 5.5	31	**5**	1	1	2	...	....	....	....	....	....	....	....
Mois	702.32	654.64	+ 3.55	+ 1.98	71	49	5.5	5.6	5.8	73.8	....	74.0	....	76.5	34	79.1	39

MOYENNES DU MOIS DE NOVEMBRE 1914

Pression atmosphérique

	Savatan				Dailly			
	7 h. m. mm.	1 h. s. mm.	9 h. s. mm.	Moyenne mm.	7 h. m. mm.	1 h. s. mm.	9 h. s. mm.	Moyenne mm.
1re décade ...	701.75	702.06	702.97	702.26	655.00	655.08	655.70	655.26
2me » ...	701.48	701.48	701.22	701.39	653.89	653.66	653.44	653.66
3me » ...	703.25	702.79	703.89	703.31	654.86	654.93	655.25	655.01
Mois..	702.16	702.11	702.69	702.32	654.58	654.56	654.79	654.64

Température

	Savatan					
	7 h. m. °	1 h. s. °	9 h. s. °	Moyenne °	Minim. moyen °	Maxim. moyen °
1re décade ...	+ 6.06	+ 9.15	+ 7.74	+ 7.65	+ 4.6	+10.5
2me » ...	1.03	2.04	0.46	1.18	- 2.2	3.8
3me » ...	0.70	3.02	1.78	1.83	- 1.3	4.0
Mois..	+ 2.60	+ 4.74	+ 3.33	+ 3.55	+ 0.4	+ 6.1
	Dailly					
1re décade ...	+ 4.95	+ 8.69	+ 6.16	+ 6.60	+ 3.5	+10.0
2me » ...	- 2.34	- 0.42	- 2.01	- 1.59	- 4.5	0.9
3me » ...	- 0.75	+ 2.15	+ 1.39	+ 0.95	- 2.5	4.4
Mois..	+ 0.62	+ 3.47	+ 1.85	+ 1.98	- 1.2	+ 5.1

Fraction de saturation en %

	Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
1re décade ...	84	77	81	81	48	31	37	39
2me » ...	83	66	69	73	73	62	65	67
3me » ...	62	58	62	61	45	39	44	42
Mois..	76	67	71	71	55	44	48	49

Nébulosité

	Lavey				Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
1re décade ...	5.0	5.3	6.4	5.6	5.0	5.4	5.6	5.3	5.9	5.4	5.1	5.5
2me » ...	6.0	5.8	6.1	6.0	6.0	6.8	6.2	6.3	6.5	6.3	5.9	6.2
3me » ...	5.5	5.1	4.5	5.0	5.1	5.3	5.5	5.3	6.1	5.4	5.7	5.8
Mois..	5.5	5.4	5.7	5.5	5.4	5.8	5.7	5.6	6.1	5.7	5.6	5.8

COMPTE RENDU DES SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ DE PHYSIQUE ET D'HISTOIRE NATURELLE

DE GENÈVE

Séance du 18 mars 1915

Amé Pictet. Les constituants de la houille et leurs relations avec ceux du pétrole. — Emile Yung. De la croissance des ongles.

M. Amé Pictet rend compte des recherches qu'il poursuit avec MM. M. Bouvier et O. Kaiser sur les *constituants de la houille et leurs relations avec ceux du pétrole.*

Le produit de la distillation de la houille sous pression très réduite (goudron du vide) et le produit d'extraction de la houille par le benzène bouillant, sont à très peu de chose près identiques. Tous deux sont formés d'un mélange d'hydrocarbures liquides et solides appartenant à la série hydro-aromatique ; les uns sont saturés, les autres ne le sont pas ; on les sépare, d'abord par un traitement à l'acide sulfureux liquide, qui ne dissout que les non saturés (procédé Edeleanu), puis par une série de distillations fractionnées.

MM. Pictet et Bouvier ont retiré ainsi du goudron du vide les *hydrocarbures saturés* suivants :

C_9H_{18}....	Pt d'ébull. :	136°	(hexahydromésitylène)
$C_{10}H_{20}$....	»	160°	
$C_{10}H_{20}$....	»	173°	(hexahydrodurène)
$C_{11}H_{22}$....	»	190°	
$C_{12}H_{24}$....	»	212°	
$C_{12}H_{24}$....	»	216°	
$C_{13}H_{26}$....	»	228°	
$C_{30}H_{60}$....	Pt de fus.	62°	

Ces corps sont tous identiques, à une exception près, aux carbures de mêmes formules, retirés par *Mabery* du pétrole de Canada.

Le carbure solide $C_{30}H_{60}$ se trouve, ainsi que les auteurs l'ont constaté, dans le pétrole de Galicie; il est également identique au *mélène*, obtenu en 1849 par *Brodie* en distillant la cire d'abeilles.

De l'extrait benzénique de la houille, MM. Pictet et Kaiser ont retiré les *hydrocarbures non saturés* suivants :

C_7H_{10}...	Pt d'ébull. :	106-108°	(dihydrotoluène)
C_8H_{12}...	»	136°	(dihydro-m-xylène)
C_9H_{14}...	»	166°	(dihydro-mésitylène)
C_9H_{14}...	»	168°	(dihydro-pseudocumène)
$C_{11}H_{16}$...	»	201°	
$C_{13}H_{12}$...	»	252-3°	(dihydro-fluorène)
$C_{13}H_{16}$...	»	245°	(hexa-hydro-fluorène)
$C_{13}H_{16}$...	»	237°	
$C_{16}H_{18}$...	»	276°	

L'identité des carbures saturés de la houille et de ceux de divers pétroles est intéressante en ce sens qu'elle fournit un argument en faveur de l'origine commune des deux produits naturels.

M. Emile Yung. — *De la croissance des ongles.*

L'auteur expose les résultats de mensurations relatives à la *vitesse de croissance des ongles.* Le but primitif de ces recherches était de déterminer si les changements de régime, notamment le jeûne partiel ou l'alimentation réduite, influent sur l'activité du corps muqueux de Malpighi dans sa production de substance cornée; telle que celle des cheveux et des ongles. Ce but a dû être abandonné à cause de l'état de santé des personnes qui s'étaient prêtées aux expériences, en sorte que la question posée n'a pas reçu de réponse. Mais, chemin faisant, M. Yung a accumulé, pendant une période de 40 mois, des chiffres relatifs à la poussée normale des ongles chez cinq sujets d'âges différents. Le nombre des observations faites sur ces sujets diffère de l'un à l'autre, pour des motifs divers; néanmoins, il a été possible d'utiliser, à une exception près, les moyennes de 20 observations faites dans les mêmes temps et dans des conditions identiques, sur l'ensemble des sujets. Les conclusions ci-dessous sont donc basées sur ces moyennes qui, dérivant elles-mêmes d'observations prolongées et précises, leur donnent d'autant plus d'intérêt que des documents de ce genre ont été jusqu'ici recueillis en petit nombre.

Les sujets étudiés furent :

A, un garçon,	âgé de	4 ans et 3 mois,	au début	des recherches.
B, un garçon,	»	7 ans et 2 mois,	»	»
C, une femme,	»	33 ans et 6 mois,	»	»
D, un homme,	»	56 ans,	»	»
E, une femme,	»	78 ans et 6 mois,	»	»

Les mesures ont été, chez tous, opérées de la même manière ; une entaille pratiquée au moyen d'une scie fine, puis noircie au noir de fumée, servait de repère mobile, le repère fixe était fourni par le bord supérieur de la gouttière ungéale. La croissance était mesurée de 14 en 14 jours (ou de 7 en 7 jours) et appréciée en dixièmes de millimètres. Les mesures prises en période de maladie ont été éliminées ; il en était de même de celles prises sur le plus jeune des enfants *(A)* pendant les périodes où celui-ci se livrait à la mauvaise habitude de se ronger les ongles. Enfin, les observations furent limitées aux ongles de trois doigts : le pouce, le médius et le petit doigt. Voici les principales conclusions tirées d'un ensemble d'observations considérées toutes comme *valables :*

1° La moyenne générale de toutes les mesures prises sur les cinq sujets donne, relativement à la rapidité de croissance, le chiffre de $1^{mm},457$ par 14 jours, ou $2^{mm},914$ pour 28 jours ; autrement dit : 104 microns par jour ou $3^{mm},120$ par mois de 30 jours.

2° Si l'on compare la croissance de l'ongle de chacun des trois doigts observés à droite et à gauche, on trouve que l'ongle du pouce s'accroît un peu plus rapidement que celui du médius, et ce dernier un peu plus rapidement que celui du petit doigt. La différence entre la croissance de l'ongle du médius et celle de l'ongle du petit doigt est supérieure à celle existant entre la vitesse de croissance de l'ongle du pouce et celle de l'ongle du médius. Ces résultats étant les mêmes pour les doigts correspondants des deux mains et se retrouvant chez tous les sujets observés, ils semblent indiquer la règle que la vitesse de croissance des ongles va en diminuant du doigt interne vers le doigt externe.

3° La comparaison des moyennes concernant la main droite, avec celles tirées de la main gauche, montre que les ongles de la première poussent un peu plus vite que ceux de la seconde. La différence est manifeste chez les sujets *C* et *D*, moins marquée chez *B*, et si faible chez *A* et *E*, qu'à n'envisager que ces deux derniers sujets, on l'attribuerait aux erreurs possibles de mensuration.

4° Quant à l'influence de l'âge des sujets, la rapidité de croissance a atteint son maximum chez *C*, sujet dans la force de l'âge, et son minimum chez *E*, le sujet le plus âgé. Chez les deux enfants *A* et *B* la croissance a été plus lente que chez *D*, mais la différence dans la marche de la poussée des ongles chez *A* et *B*

est à peu près la même que celle existant entre *B* et *D*. En somme, il paraît qu'au dessous de 6 ans, la croissance des ongles est relativement lente; qu'entre 7 et 9 ans, elle s'accélère; qu'entre 30 et 40 ans, elle atteint son maximum; puis, qu'elle se ralentit après la cinquantaine pour revenir à son minimum autour de 80 ans. Ainsi, la dame *C* (dans sa 35me année) allongeait mensuellement les ongles des doigts indiqués ci-dessus, de 3^{mm},470 en moyenne (au lieu de 3^{mm},120, moyenne générale); tandis que la dame *E* (à l'âge de 80 ans) restait, à cet égard, avec une moyenne de 2^{mm},384, bien au dessous de la moyenne générale.

5° Il ne nous est pas possible de nous prononcer sur l'influence qu'excercerait la *saison* sur la croissance des ongles, attendu qu'en sériant les chiffres recueillis sur nos cinq sujets pendant les mois de janvier, février et mars; puis, pendant les mois de juillet, août et septembre, les moyennes indiquent une poussée plus rapide pendant les mois d'été pour les sujets *C* et *D*, tandis que c'est le contraire pour les trois autres sujets.

Comparant aux données ci-dessus, celles fournies par deux sujets féminins, deux institutrices (de 37 et 41 ans) qui, indépendamment l'une de l'autre, ont mesuré sur elles-mêmes la croissance de leurs ongles, pendant plusieurs mois, par les procédés que leur avait indiqués M. Yung; il s'est trouvé que la moyenne chez toutes les deux est demeurée sensiblement inférieure à celle des sujets *C* et *D* qui viennent d'être mentionnés. Le fait que les deux personnes en question observent, pour des motifs qui ne touchent pas à leur état de santé, un régime végétarien sévère, pourrait suggérer le soupçon d'une relation causale entre ce fait et la faible poussée de leurs ongles. Mais il s'agit peut-être là d'une simple coïncidence, due à toute autre raison. Les facteurs intervenant dans la croissance des ongles sont vraisemblablement fort nombreux et nous ne savons rien sur le rôle qu'exerce sur ce phénomène le sexe, la profession, les soins esthétiques ou hygiéniques donnés aux ongles, le tempérament du sujet, etc., sans parler de son état de santé ou de maladie.

COMPTE RENDU DES SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ VAUDOISE DES SCIENCES NATURELLES

Séance du 18 novembre 1914

Maurice Lugeon. Sur l'ampleur de la nappe de Morcles.

M. Maurice Lugeon. — *Sur l'ampleur de la nappe de Morcles.*

On sait que les hautes Alpes calcaires de la Suisse sont formées par des nappes empilées. La plus basse est celle de Morcles. J'ai montré il y a deux ans[1], que la série renversée de cette masse recouverte repose sur le Flysch autochtone par l'intermédiaire d'un coussinet de granit et de gneiss mylonitisés parfois réduit à quelques mètres de puissance.

De nouvelles recherches m'ont permis de suivre la lame de mylonite, dont l'épaisseur tombe parfois à quelques décimètres, sous tout le Sex Trembloz et jusque dans le cirque des lacs de Fully. Ici, elle se lamine et cette disparition ne lui est pas propre. Avec elle disparaît le Nummulitique renversé de la nappe, et la série autochtone diminue extraordinairement de puissance.

Seule demeure la série crétacique renversée, dont le terme le plus jeune est constitué par les calcaires aptiens.

Jusqu'où va-t-elle cette série ? Autrement dit comment se rattache la nappe aux grandes unités internes de la chaîne ? On sait que j'ai émis l'hypothèse que la lame cristalline mylonitisée de la base appartenait au massif du Mont-Blanc.

En suivant pas à pas l'Aptien renversé, on constate qu'il se marmorise peu à peu vers le sud, vers la racine. Jamais il ne manque, formant une corniche située à quelques mètres au-des-

[1]) *Eclogae geol Hel.* Vol. XII, p. 180.

sus de la masse des gneiss en discordance du massif des Aiguilles Rouges. Il en est séparé par une épaisseur très faible de Trias autochtone.

Non loin de là, dans la vallée du Rhône, existe un marbre célèbre exploité à Saillon. C'est un calcaire rubanné à fond blanc ou ivoire, strié de vert ou de violet, ou une roche de couleur verte. Sa position sur le Trias autochtone a fait que jusqu'à ce jour les auteurs l'ont considéré comme triasique ou jurassique. *Mais nos recherches nous montrent que ce calcaire marmorisé, mylonitisé, de Saillon, n'est que l'Aptien de la base de la nappe.*

Ainsi non seulement nous arrivons à déterminer rigoureusement l'âge de ces fameux marbres, qui rappellent beaucoup le *Lochseitenkalk* de la base de la nappe glaronnaise, mais encore, en ayant pu suivre sans discontinuité la transformation graduelle de l'Aptien type, de la Dent de Morcles à ce marbre, nous pouvons démontrer que la nappe s'enracine dans la vallée du Rhône.

La nappe prend une ampleur inattendue. Puis son flanc renversé pénètre dans la terre juste dans la prolongation du synclinal de Chamonix. Or, dans ce synclinal à la Batiaz près de Martigny et au col de la Forclaz près de Trient existent les mêmes marbres rubannés.

Le synclinal de Morcles ne peut donc être que le synclinal de Chamonix ou une partie de celui-ci (dans l'hypothèse d'un synclinal complexe) et la nappe de Morcles se montre bien comme l'enveloppe sédimentaire du massif du Mont-Blanc. La lame de roches cristallines mylonitisées de la base de la nappe provient du flanc nord du massif. Elle est bien l'homologue de ces lames de gneiss signalées par Bertrand et Ritter dans le Mont Joly, de celles que j'ai signalées à l'est du massif du Torrenthorn.

Séance du 2 décembre

M. Martinet. Sur un croisement entre le blé ordinaire *(Trilicum vulgare)* et le blé sauvage *(Triticum dicoccoïdes)*. — P. Murisier. L'influence de la vision sur la coloration cutanée des Vertébrés inférieurs. — M Jacot-Guillarmot. Taches de soleil.

M. Martinet. — *Sur un croisement entre le blé ordinaire* (Triticum vulgare) *et le blé sauvage* (Triticum dicoccoïdes).

La question de l'origine de nos céréales préoccupe depuis longtemps le monde des savants. L'archéologie, l'étymologie et la botanique ont été tour à tour, et conjointement, mises à contribu-

tion pour trouver la solution du problème. Il n'a pas été possible de retrouver le froment à l'état sauvage; on en trouve bien quelques plantes çà et là, qui se sont échappées des cultures, mais elles ne persistent pas.

En 1834, Link trouvait dans une graminée sauvage que l'on rencontre en Serbie, en Grèce, en Syrie et Mésopotamie, le Triticum aegilopoïdes, le prototype de l'engrain (Trit. monococcum) encore çà et là en culture dans la région de Bâle-Campagne. En botanique, jusqu'à présent, on considère le T. monoccum comme formant un groupe distinct, parce qu'il n'y a pas d'hybrides avec les autres espèces ou races, à part le croisement qu'on a pu faire Beyerink, mais dont les produits furent stériles. Le pollen de l'engrain est plus petit et plus anguleux que celui des autres blés. Au reste, les épis sont étroits et les épillets très imbriqués.

En 1855, Koschy avait récolté au mont Hermon, en Palestine, un exemplaire de graminée à laquelle il n'attribua pas d'autre importance, mais que Körnicke examina en 1873, mais laissa dans l'oubli pour en reprendre une étude plus approfondie en 1889 ; il la décrivit sous le nom de *Triticum vulgare* Vi var. *dicoccoïdes)* du type dicoccum amidonnier.

Dans divers voyages qu'il fit en Palestine dès 1904 pour des études minéralogiques, le professeur Aaronsohn, chef de la station israélite d'essais à Haïfa, Palestine, parvint à trouver un certain nombre de plantes du blé sauvage du type dicoccoïdes, en compagnie de *Hordeum spontaneum,* l'orge spontané. Aaronsohn fut étonné de la multitude de formes qu'il avait en présence. Il a été reconnu plus tard, du reste, que les plantes récoltées par ce savant n'étaient pas pures et qu'il y avait beaucoup d'hybrides entre *dicoccoïdes* et *aegilophoïdes*. Ces plantes se trouvent généralement dans les rochers, dans les endroits secs recouverts d'une mince couche de terre.

Aaronsohn a récolté ce type sauvage de blé dans beaucoup d'autres endroits, de façon à pouvoir en remettre aux jardins botaniques et aux stations expérimentales. M. le professeur Schröter nous en a obligeamment remis quatre grains en 1910. A Mont-Calme, le blé du mont Hermon s'est montré comme une sorte de graminée sauvage ou fenasse, qui ne rappelle en rien notre froment amélioré. La tige est grêle, peu solide et inclinée, les feuilles étroites ; l'épi porte peu d'épillets, et ceux-ci ont des arêtes de 14—15 cm. de long ; le grain reste vêtu ; on a de la peine à y reconnaître l'ancêtre de nos blés.

En 1913, on eut l'idée de le croiser sur le froment ordinaire; c'est M. Francey, notre assistant, qui procéda à ces essais d'hybridation ; le résultat en fut quatre grains, assez ratatinés, qui, mis en terre à l'automne, donnèrent quatre plantes, dont trois plus

grêles que l'autre. A l'épiage, et plus tard, les épis de ces trois plantes se développèrent en forme d'épeautre. A certain moment, plusieurs épis décapités en partie laissèrent supposer une visite indiscrète et pourtant le tout se trouvait dans une cage à treillis, fermée à clef, lorsqu'on découvrit sur le sol les épillets manquants, qui étaient tombés d'eux-mêmes ; l'épi de cet hybride est comme celui du parent *dicoccoïdes* et de l'épeautre extrêmement fragile.

La quatrième plante s'est développée normalement en froment ordinaire ; le croisement n'aura probablement pas réussi ; malgré cela, les grains en ont été semés comme celui des trois hybrides, pour voir la suite.

Dans l'idée d'Aaronsohn, la découverte devrait conduire à la recherche par sélections et croisements divers de races plus endurantes et plus rustiques que nos froments. Personnellement, nous ne croyons pas à de pareils résultats. Outre qu'il est difficile de réaliser en quelques années, sur le type sauvage, des gains et des améliorations qui ont coûté des siècles, on constate aujourd'hui que, grâce aux diverses améliorations culturales, on tend toujours à abandonner les espèces et races anciennes très robustes mais fournissant un produit de qualité inférieure, telle que l'engrain, l'épeautre, la nonette et le seigle, pour se livrer presque exclusivement à la culture de la céréale noble, qui est le froment que l'on cherche à perfectionner lui-même sous tous les rapports.

Nous n'en poursuivrons pas moins attentivement l'étude de nos hybrides. M. Humphrey du Bureau of Plant Industry, à Washington, nous écrit que là-bas aussi on a obtenu un hybride semblable au nôtre, entre le blé ordinaire et la graminée céréale du mont Hermon.

Les résultats que nous avons obtenus permettent plutôt, sinon de trancher une question scientifique, du moins d'y apporter des éléments nouveaux. Plusieurs botanistes, Schulz entre autres, pensent qu'à part le groupe de l'engrain avec prototype *T. aegilopoïdes*, il y a lieu de faire deux autres groupes ou séries, celle de l'amidonnier ou *T. dicoccum*, avec prototype *dicoccoïdes*, et formée des espèces *dicoccum*, *durum*, *turgidum* et *polonicum*, et la seconde série sans prototype sauvage connue et composée des *T. spelta*, *vulgare compactum*.

Or le fait de voir naître un épeautre du croisement d'un *dicoccoïdes* et d'un froment parle en faveur de l'avis d'autres savants qui veulent faire dériver tous les *Triticum* (excepté *monococcum*) de *dicoccoïdes*, qui serait ainsi le blé primitif ou le blé ancêtre. Bien plus, la constatation d'hybrides entre les deux prototypes sauvages (*T. aegilopoïdes* et *T. dicoccoïdes*) feraient admettre, entre eux, une certaine affinité ou parenté, de façon à simplifier encore l'origine de nos divers blés.

M. P. Murisier parle de ses recherches sur *l'influence de la vision sur la coloration cutanée des Vertébrés inférieurs.*

Il s'agit d'expériences faites sur des truites et des salamandres normales ou aveugles depuis l'éclosion, élevées pendant huit mois dans des conditions particulières d'éclairage et de température. Les résultats obtenus sont complexes et leur interprétation ne se prête guère à un résumé pouvant trouver place ici. Le compte-rendu de ces observations figurera dans un travail d'ensemble sur la fonction pigmentaire des Vertébrés inférieurs, que l'auteur compte publier aussitôt que les circonstances le permettront.

M. Jacot-Guillarmot signale un groupe curieux de *taches du soleil* et en recommande l'observation aux membres.

Une série de conséquences découlent de cette découverte.

Nous avions émis l'hypothèse que le synclinal de Morcles, qui se continue dans le synclinal de la Dent du Midi et qui se prolonge dans le synclinal du Reposoir, ne pouvait être que l'embouchure du synclinal plus ou moins complexe de Chamonix. Il en est bien ainsi. L'ensemble de la zone subalpine française n'est donc représentée en Suisse que par les masses autochtones qui s'appuient sur le vieux sol hercynien de la prolongation des Aiguilles Rouges et sur celui du massif de l'Aar. Le grand pli couché de la Dent de Morcles, qui monte à l'assaut de la masse rigide des Aiguilles Rouges, représente un élément tectonique plus interne. Cet élément naît au Col du Tamié près d'Albertville, Savoie ; il forme toute la chaîne des Aravis, le Mont Joly, le désert de Platé, le Buet, le Mont Ruan, la Dent du Midi, enfin le massif de Morcles, pour disparaître dans la Lizerne sous la nappe des Diablerets et du Wildhorn. Cet élément ressort dans les plis couchés et plongeant du massif du Balmhorn, et le synclinal de la Jungfrau serait bien, ainsi que l'a pressenti A. Buxtorf, l'homologue, pour ne pas dire la continuation du synclinal de Chamonix.

Le synclinal du Reposoir, très court au Tamié, se creuse de plus en plus du sud-ouest vers le nord-est. Le *balcon* de la nappe paraît avoir son ampleur maximale dans le voisinage de la vallée du Rhône.

Séance du 16 décembre

M. Linder. Rapport sur la marche et la gestion de la Société pendant l'année 1914. — H. Blanc. Présentation d'un mémoire non publié de feu Georges Du Plessis intitulé : Etude sur une hydroméduse d'eau douce qui habite le petit Argens, près de Saint-Raphaël. — Maurice Lugeon. Sur l'entraînement des terrains autochtones en dessous de la nappe de Morcles.

M. Linder, président sortant, présente le *rapport sur la marche et la gestion de la Société pendant l'année 1914.*

M. le prof. H. Blanc présente le résumé d'un mémoire non publié, de feu le docteur Georges du Plessis, intitulé : *Etude sur une Hydroméduse d'eau douce qui habite le petit Argens près de Saint-Raphaël.*

C'est en cherchant des animaux pélagiques dans la modeste lagune d'eau pure et limpide appelée petit Argens, en communication avec l'Argus, rivière qui se jette à la mer vis-à-vis de Frejus, que le savant zoologiste découvrit au mois d'août 1912 une quantité de méduses dont les plus petites, très jeunes, avaient la grosseur d'une tête d'épingle, alors que les adultes sexuées étaient de la grosseur d'une pièce de dix sous. Sans la baptiser, du Plessis classe cette méduse d'eau douce dans le genre *Laodice*, représenté dans la Méditerrannée par plusieurs espèces côtières. Il a remarqué qu'elle passe l'hiver cramponnée aux filaments d'une algue verte pour reprendre en avril sa vie pélagique. Pendant la bonne saison, alors que les glandes génitales sont arrivées à maturité, s'échappent des ovaires situés le long des quatre canaux radiaires, des *planules* ciliées qui, en peu d'heures, se sont fixées et transformées en polypes hydraires, minuscules. Ceux-ci restent fixés ou se déplacent et contractés en boule flottent à la surface de l'eau.

M. Blanc regrette que la dernière étude du docteur G. du Plessis, que sa nièce, Mme de Gasquet-de Crousaz, avait bien voulu lui confier, ne puisse pas être publiée, manuscrit et dessins n'ayant pas été mis au point par leur auteur pour pouvoir paraître dans le Bulletin.

M. Maurice Lugeon. — *Sur l'entraînement des terrains autochtones en-dessous de la nappe de Morcles.*

J'ai montré dans deux Notes antérieures[1] que la nappe de

[1] Sur la tectonique de la nappe de Morcles et ses conséquences *(Comptes rendus,* t. 155, 30 septembre 1912, p. 623). — Sur l'ampleur de la nappe de Morcles *(Comptes rendus,* t. 158, 29 juin 1914, p. 2029).

Morcles, la plus basse de la série helvétique, repose, par l'intermédiaire d'un coussinet de granit et de gneiss écrasés, sur l'autochtone. Lorsque cette lame de myolinite disparaît par étirement, c'est le Nummulitique normal ou renversé, puis l'Aption renversé, qui viennent, teur à tour, recouvrir la série résumée en place.

L'autochtone sédimentaire enveloppe d'un manteau continu, comme une grande voûte, les masses hercyniennes profondes formées par le gneiss dans lesquels s'enfonce un synclinal déjeté de Carbonifère et de Permien. Mais cet autochtone est loin d'être constant en épaisseur. Le manteau diminue de puissance du Nord vers le Sud. Il est intéressant de rechercher les causes de cet amincissement. Ces causes sont au nombre de deux :

Il y a, çà et là, absence originelle, c'est-à-dire que, durant les temps qui ont précédé la transgression priabonienne, des érosions considérables ont décapé une partie de l'enveloppe. Plusieurs faits militent en faveur de cette manière de voir. Le Nummilitique normal repose stratigraphiquement sur le granite et le gneiss de la lame mylonitisée de base. Ce même terrain contient une lame de Trias enveloppée par des brèches tertiaires chargées de cailloux triasiques. Enfin, le Flysch du synclinal, accompagné par du calcaire nummulitique très réduit, transgresse successivement sur l'Hauterivien, le Valanginien et le Malm autochtones.

Il faut donc se représenter qu'avant le Nummulitique le massif des Aiguilles rouges et sa couverture autochtone formaient un plan incliné descendant vers le Nord. Cette surface fut pénéplainée, et, sur la pénéplaine, affleuraient successivement, du Nord vers le Sud, tous les terrains de l'Hauterivien jusqu'aux masses archéennes. Et tous ces terrains furent recouverts en discordance par les sédiments nummulitiques.

Une deuxième cause est venue troubler la tranquillité originelle de la série autochtone. *Celle-ci, sous l'énorme poids de la nappe en mouvement, a été entraînée vers le Nord, et ses éléments, inégalement déplacés, se sont accumulés dans les creux, tout comme le sable chassé par le vent s'accumule derrière les obstacles.*

Sachant ce qui a été enlevé par érosion dans cette série autochtone sédimentaire, nous voyons que, dans la partie plongeante septentrionale du massif cristallin, les calcaires du Malm s'empilent en formant les hauts escarpements qui dominent Saint-Maurice. Sur le sommet de la voûte que forme le massif cristallin, la série autochtone est étirée, réduite à quelques mètres. Et enfin, un autre phénomène plus péremptoire encore démontre le bien-fondé de l'hypothèse.

La série autochtone débute par des quartzites de Trias inférieur incrustés sur la surface pénéplainée des gneiss anciens. Ces quart-

zites sont restés en place. Mais sur eux reposent des roches particulièrement plastiques, schistes et calcaires magnésiens, recouverts directement, sauf près d'Arbignon où existe du Lias, par le calcaire callovien supportant l'énorme masse des calcaires du Jurassique supérieur.

Avant le plissement alpin proprement dit, c'est-à-dire avant la naissance tout au moins de la dernière nappe, dans l'espèce, la plus profonde, soit la nappe de Morcles, le massif cristallin s'est bombé, avec un sillon longitudinal déterminé par le Carbonifère sur le sommet de la vaste coupole.

C'est encore que, sous le poids énorme des nappes supérieures non encore détruites, s'est avancée en grande profondeur la nappe de Morcles. Rencontrant l'obstacle du massif cristallin, elle en a râpé la surface, bousculant la série autochtone qui s'est décollée presque immédiatement au-dessus des quartzites de base. Toutes les masses qui se trouvaient sur le versant sud du massif ont été arrachées. Et de ce fait, sur ce versant, on chercherait en vain un terme supérieur aux calcaires dolomites du Trias. Une colossale écaille d'esquille est venue se localiser dans l'angle creux décrit par le synclinal carbonifère. Sur le haut du massif, où la pression était moindre, parce que le mouvement d'écoulement était plus libre, la série autochtone est simplement étirée, le Malm réduit possède tout au plus 30 m. de puissance. Et enfin sur le côté nord du massif, soit dans un angle protégé, la masse de l'autochtone est venue s'empiler comme ne pourrait le faire qu'une matière semi-plastique.

Ainsi donc, lorsque dans l'écorce terrestre des tranches énormes se meuvent sous des poids considérables, la plasticité du substratum devient telle que la série autochtome subit, elle aussi, des déplacements inégaux et variables. Ce phénomène, analogue à celui qui a produit les *lambeaux de poussée* du bassin houiller franco-belge, avait été soupçonné dans le Jura par Buxtorf, puis dans les Alpes par Collet; il était possible de le déduire des coupes de Marcel Bertrand et de Ritter, mais la tranchée de 2500 m. de profondeur, ouverte par le Rhône entre Martigny et Saint-Maurice, la met en évidence d'une façon particulièrement saisissante.

BULLETIN SCIENTIFIQUE

PHYSIQUE

M. v. Laue. Die Interferenzerscheinungen an Röntgenstrahlen, hervorgerufen durch das Raumgitter der Kristalle. Extrait du *Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik,* Bd XI, Heft 3, octobre 1914, herausgegeben von J. Stark, S. Hirzel, Leipzig.

C'est un exposé d'ensemble sur les phénomènes d'interférences des rayons Röntgen que M. M. von Laue a écrit pour le *Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik.* On y retrouvera les résultats donnés ici même par M. M. von Laue (1) et par M. Friedrich (2). Nous n'avons donc pas à y revenir. Signalons seulement comme nouvelles les intéressantes considérations statistiques qui permettent de déterminer les intensités des points d'interférence, puis et surtout, les conséquences importantes que l'étude des interférences des rayons Röntgen ont eu pour la cristallographie, en particulier pour la connaissance de la structure du sel gemme et du diamant.

Dr Max-B. Weinstein, Kräfte und Spannungen, das Gravitations- und Strahlenfeld. *Sammlung Vieweg,* Tagesfragen aus den Gebieten der Naturwissenschaften und der Technik, Heft 8, Friedr. Vieweg et Sohn, Brunswick, 1914.

On sait combien les travaux de Lorentz, Minkowski, Einstein ont bouleversé nos idées sur l'espace et le temps. Ces modifications fondamentales ont eu leur répercussion dans tous les domaines. Parmi les notions qui ont subi une transformation profonde, on doit mettre en première ligne la notion de force et celle corrélative de tension. Il faut être reconnaissant à M. Weinstein d'avoir donné dans un des cahiers de l'intéressante *Sammlung Vieweg,* l'exposé complet des théories modernes des forces physiques. Le travail de M. Weinstein vient d'autant plus à propos que, dans l'état présent, ces questions sont embarrassées d'un appareil mathématique très compliqué qui en rend l'étude difficile

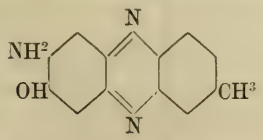
1) *Archives*, t. XXXVI, décembre 1913.
2) *Ibid.*, t. XXXVII, mai 1914.

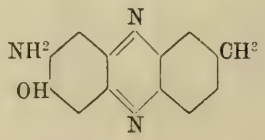
et peu attrayante. Si, en postulant une relation entre l'espace et le temps, Lorentz, Einstein, Minkowski ont donné plus d'unité à nos idées et ramené l'étude du mouvement à une géométrie à 4 dimensions, par contre, l'introduction de cette relation nous a doté de formules mathématiques d'une complication quasi-inextricable. Une nouvelle science est née, l'analyse vectorielle à 4 dimensions; elle en est à ses débuts et déjà les difficultés se dressent de toute part, rendant l'avance pénible. Il faut que les théoriciens se mettent à la besogne; c'est à eux que le livre de M. Weinstein s'adresse; ils y trouveront l'exposé complet, clair, précis des résultats acquis dans ce domaine ardu, et dégagés de considérations trop particulières. C'est une base que donne l'opuscule de M. Weinstein, une base sur laquelle on peut bâtir. C'est dire toute l'importance de cette publication. E. G.

CHIMIE

F. Kehrmann et D. Kissine. — Synthèse de l'amino-2-oxy-3-phénazine (*Ber. d. D. chem. Ges.*, t. 47 (1914), p. 3100-3101; laboratoires de chimie organique des Universités de Genève et de Lausanne).

L'*amino-2-oxy-3-phénazine* a été préparée par Ullmann et Mauthner en oxydant l'o-phénylène diamine, mais le mécanisme de la réaction qui lui donne naissance, n'avait pas été expliqué jusqu'à présent. Cependant les auteurs en ayant fait la synthèse par condensation de l'amino-oxy-o-quinone avec l'o-phénylène-diamine, la formule hypothétique indiquée par U. et M. peut être considérée comme exacte. En outre, en remplaçant l'o-phénylène-diamine par l'o-toluylène-diamine, les auteurs ont préparé l'homologue : l'*amino-2-oxy-3-toluphénazine* ou peut-être un mélange des deux isomères possibles :





qui a les mêmes caractères que l'amino-oxy-phénazine. Le dérivé diacétylé de ce produit, chauffé avec la lessive de soude étendue, élimine l'acétyle fixé à l'hydroxyle pour fournir le dérivé monoacétylé, soit l'*acétamino-2-oxy-3-toluphénazine,* précipité cristallisé rouge foncé, se décomposant vers 250°.

MESURES DU COURANT ELECTRIQUE

PASSANT DE L'ATMOSPHÈRE A LA TERRE

faites chaque jour à Altdorf et à Fribourg, entre 1 h. 30 et 2 h. du soir

MAI 1915

Date	Altdorf			Fribourg			Temps
	λ	P. G.	Cour[t]	λ	P. G.	Cour[t]	
1	224	90	67	273	variable	—	Très beau à A., orag. à F.
2	—	—	—	428	104	148	» » à Fribourg.
3	225	86	64	299	105	105	Beau.
4	240	62	50	277	69	64	Couvert, à la pluie à F.
5	401	108	144	361	< 50	—	Fœhn à A., pluvieux à F.
6	194	73	47	227	70	53	Beau à A., couvert à F.
7	194	62	40	240	101	81	Couvert.
8	205	61	42	242	96	86	»
9	281	75	70	260	64	58	Ass. beau à A., couv. à F.
10	224	54	40	232	78	61	Couvert.
11	258	58	50	325	96	104	»
12	264	5	—	278	-90	-84	Pluie.
13	216	66	47	253	69	58	Assez beau.
14	210	78 à 28	—	358	44	53	Pluvieux.
15	201	77	52	278	98	90	Beau.
16	275	43	39	277	72	66	Beau à A., couvert à F.
17	331	74	82	321	67	72	Fœhn à A., pluie à F.
18	256	65	55	251	95	80	Couvert.
19	239	20 à -55	—	377	-59	-75	Pluie à Altdorf.
20	215	65	47	284	52	49	Ass. beau à A., couv. à F.
21	297	43	43	287	59	56	Assez beau.
22	224	50	37	269	53	48	» »
23	235	45	35	—	—	—	» »
24	222	73	54	—	—	—	Beau.
25	204	79	54	—	—	—	»
26	262	73	64	—	—	—	»
27	281	89	83	—	—	—	Pluie.
28	254	-33	-280	—	—	—	» à Altdorf.
29	324	40 à 0	—	—	—	—	»
30	—	-105 à 0	—	—	—	—	»
31	186	73	45	189	118	75	Couvert.

Abréviations

λ = conductibilité par ions négatifs et positifs en unités électrostatiques $\times 10^6$

P. G. = gradient du potentiel en volts par mètre, réduit sur terrain plat

Courant vertical, en unités électrostatiques $\times 10^8$

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES A

L'OBSERVATOIRE DE GENÈVE

PENDANT LE MOIS

DE MAI 1915

Le 3, pluie à 4 h. du soir; orage à 5 h. 35 du soir.
4, pluie de 7 h. 10 à 8 h. du matin.
5, pluie de 11 h. 15 à 1 h., de 4 h. à 5 h., à 7 h. et à 9 h. du soir; petite pluie dans la nuit.
6, pluie de 4 h. à 5 h. du soir et dans la nuit.
7, pluie dans la nuit.
8, éclairs à 7 h. 45 du soir.
10, pluie de 3 h. 45 à 4 h. du soir.
11, orage à 3 h. 55 du soir ; pluie de 6 h 40 à 10 h. du soir et dans la nuit.
12, pluie de 7 h. à 11 h. du matin.
13, pluie dans la nuit.
14, petites averses dans la matinée.
16, pluie de 9 h. 25 à 10 h. du soir et dans la nuit.
17, pluie de 7 h. à 11 h. du matin, de 2 h. à 3 h., de 5 h. à 6 h., de 8 h. à 10 h. du soir et dans la nuit.
18, pluie de 11 h. à 3 h., de 6 h. à 10 h. du soir et dans la nuit.
19, pluie de 4 h. à 7 h. du soir.
21, orage à 6 h. du soir.
26, orages à 1 h. et à 8 h. 25 du soir ; éclairs toute la soirée.
27, orages à 3 h. 15 et 8 h. 25 du soir ; éclairs dans la soirée ; pluie dans la nuit.
28, éclairs de 7 h. à 10 h. du soir ; pluie de 9 h. 40 à 10 h. du soir et dans la nuit.
29, pluie de 7 h. à 8 h. du matin ; orages à 12 h. 30, 2 h. 40, 5 h. et 5 h. 45 du soir ; pluie de 5 h. 30 à 8 h. du soir et dans la nuit.
31, pluie dans la nuit.

GENÈVE — MAI 1915

Jour du mois	Pression atmosphérique 700mm + 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 8 Obs.	Ecart av. la norm.	Barographe Min.	Max.	Vent 7 h.	1 h.	9 h.	Dominant	Vit. moy. kil. h.	Nébulosité 7 h.	1 h.	9 h.	Moy. 6 obs.	Durée d'insolation	Pluie Hauteur 24 h.	Nombre d'heures
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm										h.	mm.	
1	29.1	27.8	27.4	28.07	+ 3.12	26.6	29.2	NNE. 1	NNW. 1	SSW. 1	SSW. 1	5.0	1	2	0	1	13.4	....	....
2	27.7	25.9	26.8	26.73	+ 1.75	25.2	27.8	SW. 1	SSW. 1	SW. 1	SSW. 1	5.2	0	4	9	4	13.1	....	....
3	27.9	26.6	26.9	27.00	+ 1.98	25.7	27.9	NE. 0	NNE. 1	NW. 0	NNE. 1	2.9	0	1	2	3	9.5	0.1	1
4	28.1	28.3	27.9	27.82	+ 2.76	27.1	28.9	NNE. 1	N. 1	E. 0	NNE. 1	3.1	10	9	9	7	2.7	0.2	1
5	27.5	27.1	26.8	27.16	+ 2.06	25.8	28.1	SSW. 1	SSW. 1	SSW. 0	calme	1.5	9	10	10	10	0.6	2.3	5
6	28.2	27.7	27.3	27.56	+ 2.42	26.9	28.6	NNW. 0	NNE. 1	NE. 0	SSW. 1	2.7	9	3	0	6	6.4	4.2	5
7	28.7	28.0	27.3	27.80	+ 2.62	26.9	28.8	SSW. 0	NNE. 1	SE. 0	NNE. 1	3.6	10	9	3	8	5.0	4.0	3
8	27.3	26.8	26.1	26.68	+ 1.46	25.0	27.8	SW. 0	NNE. 1	SSW. 1	NNE. 1	3.6	8	2	10	6	7.8	....	....
9	26.6	27.1	26.7	26.59	+ 1.33	26.0	27.2	NNE. 1	NNW. 1	SSW. 0	NNE. 1	3.8	9	8	0	7	3.1	....	....
10	26.2	25.8	24.4	25.59	+ 0.28	24.2	26.3	NNW. 1	NNE. 1	SSW. 1	NNE. 1	6.3	9	9	0	7	1.6	0.1	....
11	23.5	21.8	21.9	22.54	- 2.81	21.0	24.2	NNW. 1	NNW. 1	SSW. 1	NNW. 1	6.5	10	3	10	8	5.5	3.6	5
12	21.1	21.4	22.6	21.51	- 3.88	21.0	22.7	E. 0	SE. 1	NE 1	calme	0.7	10	9	0	8	0.0	5.6	4
13	23.1	22.4	23.6	22.73	- 2.71	22.0	23.6	SW. 1	NNE. 1	SSW. 1	var.	3.1	0	2	0	1	11.3	0.2	1
14	24.1	25.4	29.0	25.59	+ 0.11	23.3	29.4	SSW. 2	SSW. 2	SSW. 0	SSW. 1	**8.6**	10	9	0	6	5.7	1.2	2
15	30.1	28.9	28.1	**29.06**	**+ 3.53**	27.7	**30.1**	W. 1	NNW. 1	SSW. 0	NNW. 1	5.9	3	1	0	1	11.4	....	....
16	28.2	26.3	25.9	27.09	+ 1.52	25.0	28.4	SW. 1	NNE. 1	NNW. 1	NNE. 1	2.3	8	9	10	9	3.0	1.0	2
17	23.1	21.8	20.0	22.01	- 3.61	19.1	25.0	SSW. 0	NE. 1	NNW. 1	calme	1.1	10	9	10	10	0.0	19.7	14
18	19.1	18.9	21.0	19.36	- 6.30	18.4	22.1	N. 1	SSW. 1	NE. 1	var.	4.2	9	9	10	9	3.8	**25.3**	**15**
19	23.6	25.5	28.2	25.18	- 0.53	22.1	28.4	SE. 1	NE. 1	SE. 1	SSW. 1	1.9	9	9	10	10	0.0	1.9	3
20	27.7	27.7	27.5	27.75	+ 2.00	27.1	28.5	NNE. 1	SSW. 1	NNE. 1	NNE. 1	4.8	9	9	10	9	0.9	....	....
21	25.9	24.8	25.0	25.30	- 0.50	23.8	27.1	NE. 1	NNE. 1	NNW. 1	NNE. 1	3.1	9	1	9	4	8.4	....	....
22	25.6	24.6	24.0	24.75	- 1.09	23.6	25.7	NW. 0	NNE. 1	NE. 0	NNE. 1	2.7	0	2	5	3	12.9	....	....
23	24.6	23.9	24.8	24.28	- 1.61	23.4	25.5	W. 1	NNE. 1	W. 1	NNE. 1	3.8	0	1	0	2	11.6	....	....
24	26.3	25.7	26.3	25.97	+ 0.04	25.1	26.7	NE. 1	NNE. 1	NNE. 1	var.	2.9	9	2	0	4	7.5	....	....
25	27.0	25.3	24.8	25.78	- 0.20	24.2	27.0	NE. 1	NNE. 1	NNE. 1	NNE. 1	4.4	0	0	0	0	**14.3**	....	....
26	26.4	24.9	25.3	25.28	- 0.74	23.8	26.4	SSW. 1	SW. 2	NNW. 1	SSW. 1	4.0	0	4	7	3	11.0	....	....
27	25.2	23.6	23.5	24.20	- 1.87	22.9	25.7	E. 0	NNW. 1	SSW. 1	NNW. 1	3.6	2	4	9	5	11.5	0.6	1
28	22.4	20.6	20.6	21.33	- 4.78	19.1	23.4	W. 0	SW. 1	SW. 1	var.	4.6	7	3	10	7	10.3	9.0	5
29	18.7	17.7	19.3	**18.66**	**- 7.50**	**17.4**	20.4	NNE. 1	SE. 1	SW. 1	var	4.2	9	9	10	9	2.5	16.7	8
30	21.8	23.0	24.7	22.47	- 3.73	19.8	25.2	SSE. 0	SSW. 2	NNE. 1	SSW. 1	5.2	8	3	0	3	11.5	....	....
31	25.4	24.9	25.1	25.05	- 1.20	24.1	25.5	SW. 1	NNE. 1	NNE. 1	NNE. 1	7.7	9	7	9	9	11.6	0.1	1
Mois	25.49	24.84	25.12	25.06	- 0.18							3.97	6.3	5.2	5.2	5.8	217.9	95.8	76

GENÈVE — MAI 1915

Jour du mois	Température 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 8 Observ.	Ecart avec la normale	Min.	Max.	Fraction de Saturation en % 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 8 Obs.	Ecart av. la norm.	Min.	Max.	Tempér. du Rhône Midi	Ecart avec la normale	Limnimètre
	°	°	°	°	°	°	°								°	°	mm.
1	+11.4	+20.4	+15.7	+15.32	+ 4.26	+ **7.0**	22.5	76	31	53	**57**	**-12**	27	93	9.5	- 0.6	1135
2	13.3	21.4	15.6	15.89	+ 4.68	8.5	23.3	71	31	55	58	-11	29	87	—	—	1125
3	12.8	17.7	17.2	15.46	+ 4.11	10.3	20.2	67	52	68	64	- 5	47	78	9.3	- 1.0	1140
4	13.9	14.5	15.0	14.18	+ 2.69	12.0	16.3	82	83	80	81	+11	70	86	8.0	- 2.4	1165
5	12.0	17.0	13 8	14.10	+ 2.46	9.5	18.8	86	78	93	84	+14	68	93	10.0	- 0.5	1165
6	13.4	20.0	16.3	16.06	+ 4.28	11.0	22.3	90	55	81	76	+ 6	52	94	10.0	- 0.7	1185
7	14.3	17.2	15.8	15.06	+ 3.13	12.0	19.0	94	74	81	83	+13	66	95	9.5	- 1.3	1230
8	14.6	20.1	18.2	17.15	+ **5.08**	11.8	22.8	93	60	78	77	+ 7	47	94	10.5	- 0.4	1235
9	15.0	17.6	15.6	15.71	+ 3.50	12.7	18.3	85	74	87	82	+12	70	90	—	—	1325
10	13.4	15.8	13.7	14.28	+ 1.92	11.8	17.3	75	70	85	80	+10	67	92	12.8	+ 1.7	1325
11	13.0	15.3	13.9	14.15	+ 1.65	11.5	17.8	86	81	94	85	+15	60	97	13.2	+ 2.0	1360
12	13.4	16.5	13.7	14.50	+ 1.86	12.0	17.8	98	85	90	88	+18	65	98	13.3	+ 1.9	1420
13	11.4	19.8	15 8	15.12	+ 2.34	7.5	22.3	80	43	63	68	- 2	38	94	—	—	1430
14	14.7	19.0	13.7	15.56	+ 2.64	11.2	20.3	68	54	70	66	- 4	50	83	13.3	+ 1.7	1465
15	10.7	15.5	13.7	12.58	- 0.49	7.5	17.0	82	57	83	75	+ 5	53	92	13.0	+ 1.3	1465
16	10.9	18.0	16.0	13.49	+ 0.28	7.2	19 5	85	63	79	79	+ 9	61	95	—	—	1495
17	13.0	16.8	14.2	14.54	+ 1.19	11.8	19.3	95	86	93	**89**	**+19**	73	97	14.0	+ 2.1	1455
18	11.6	13.3	11.3	12.51	- 0.98	10.2	16.4	88	85	96	87	+17	67	98	14.0	+ 1.9	1505
19	10.4	13.0	10 0	**10.76**	- **2.86**	9.0	14.2	97	68	95	88	+18	66	98	13.0	+ 0.8	1515
20	10.7	14.4	13.7	12.28	- 1.48	8.7	16.6	81	72	83	81	+11	68	95	11.5	- 0.8	1595
21	13.0	17.8	16.2	15.29	+ 1.39	10.0	20.2	88	60	80	77	+ 7	56	92	13.3	+ 0.9	1580
22	14.8	21.4	18.3	17 51	+ 3.48	10.3	25.0	84	58	80	75	+ 5	48	92	14.3	+ 1.8	1595
23	17.4	21.1	18.3	17.70	+ 3.53	12.2	22.5	80	65	78	77	+ 7	63	92	—	—	1575
24	15.9	20.1	18.7	17.46	+ 3.16	12 0	22.2	70	57	63	70	0	51	91	16.7	+ 3.9	1590
25	16.0	21.0	18.5	17.39	+ 2.95	10.5	23.6	71	50	54	62	- 8	38	90	17.0	+ 4.1	1580
26	16.1	25.2	18.8	**18.76**	+ 4.19	10.0	**26.0**	62	44	64	62	- 8	42	90	16.5	+ 3.5	1595
27	17.4	19.8	18.2	17.78	+ 3.08	12.5	23.5	77	70	75	75	+ 5	60	93	16.5	+ 3.4	1605
28	17.4	24.8	16.6	18.69	+ 3 86	14.5	25.8	80	30	76	66	- 4	**26**	92	17.2	+ 4.0	1615
29	14.4	18.3	13.8	15.55	+ 0.59	12.5	19.4	84	78	95	86	+16	70	**99**	17.3	+ 3.9	1625
30	15.5	20.6	15.5	16.60	+ 1.51	11.8	21.0	86	45	57	68	- 2	41	97	—	—	1650
31	+13.7	+18.2	+16.3	+14.61	- 0 60	+ 8.0	19.7	79	63	67	73	+ 3	60	91	15.5	+ 1.9	1675
Mois	+13.73	+18.44	+15.55	+15.36	+ 2.16	+10.56	20.35	82	62	77	76	+ 6			13.17	+ 1.42	1434

MOYENNES DE GENÈVE. — MAI 1915

Correction pour réduire la pression atmosphérique de Genève à la pesanteur normale : | $0^{mm}.02$. — Cette correction n'est pas appliquée dans les tableaux.

Pression atmosphérique : 700^{mm} +

	1 h. m.	4 h. m.	7 h. m.	10 h. m.	1 h. s.	4 h. s.	7 h. s.	10 h. s.	Moyennes
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1re déc	27.40	27.35	27.72	27.79	27.41	26.24	26.26	26.90	27.10
2e »	24.42	24.09	24.38	24.33	24.01	23.88	24.32	24.83	24.28
3e »	24.35	24.25	24.46	24.26	23.53	22.93	23.36	24.17	23.91
Mois	25.36	25.20	25.49	25.42	24.84	24.30	24.61	25.26	25.06

Température.

	°	°	°	°	°	°	°	°	°
1re déc	+12.93	+11.40	+13.41	+16.09	+18.17	+18.51	+16.88	+15.18	+15.32
2e »	11.19	10.73	11.98	14.04	16.16	16.50	14.76	13.03	13.55
3e »	13.25	11.79	15.60	18.67	20.75	20.99	18.81	16.38	17.03
Mois	+12.48	+11.32	+13.73	+16.35	+18.44	+18.74	+16.88	+14.91	+15.36

Fraction de saturation en %.

1re décade	83	87	82	71	61	62	70	78	74
2e »	90	89	86	78	69	69	78	86	81
3e »	87	90	78	61	56	58	68	77	72
Mois	87	89	82	70	62	63	72	80	76

Dans ce mois l'air a été calme 145 fois sur 1000

Le rapport des vents $\frac{NNE}{SSW} = \frac{73}{53} = 1.38$

Moyennes des 3 observations (7^h, 1^h, 9^h)

		mm
Pression atmosphérique.....		25.15
Nébulosité		5.6
Température	$\frac{7+1+9}{3}$..	+15°.91
	$\frac{7+1+2\times9}{4}$..	+13°.82
Fraction de saturation.....		74 %

Valeurs normales du mois pour les éléments météorologiques, d'après Plantamour :

		mm
Press. atmosphér..	(1836-1875).	25.24
Nébulosité..	(1847-1875).	5.8
Hauteur de pluie..	(1826-1875).	79^{mm}.2
Nombre de jours de pluie.	(id.).	12
Température moyenne...	(id.).	+13°.20
Fraction de saturat.	(1849-1875).	70 %

Observations météorologiques faites dans le canton de Genève

Résultats des observations pluviométriques

Station	CÉLIGNY	COLLEX	CHAMBÉSY	CHATELAINE	SATIGNY	ATHENAZ	COMPE-IÈRES
Hauteur d'eau en mm.	91.1	106.6	103.5	88.6	100 8	88.1	108.6

Station	VEYRIER	OBSERVATOIRE	COLOGNY	PUPLINGE	JUSSY	HERMANCE
Hauteur d'eau en mm.	93.6	95.8	83.3	106.8	88.4	94.1

Insolation à Jussy : 169.4 h.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES AU

GRAND SAINT-BERNARD

PENDANT LE MOIS

DE MAI 1915

Les 4, 5, 6, 10, 12, 14 et 17, pluie et brouillard.
7, 18 et 19, neige.
28 et 29, pluie.
9, 11 et 30, brouillard.
4, 5, 17 et 21, très fort vent.
Le 19, forte bise.

GRAND SAINT-BERNARD — MAI 1915

Jour du mois	Pression atmosphérique 500mm + 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 3 Obs.	Ecart av. la norm.	Barographe Min.	Max.	Vent 7 h.	1 h.	9 h.	Dominant	Nébulosité 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 3 Obs.	Pluie Hauteur (24 h.)	Neige Hauteur (24 h.)
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.									mm.	cm.
1	67.1	67.5	67.7	67.4	+ 4.7	66.9	67.8	SW. 1	SW. 1	NE. 0	SW. 1	1	0	0	0	....	....
2	66.7	66.7	66.8	66.7	+ 3.9	66.5	67.2	SW. 0	SW. 1	SW. 1	SW. 1	3	2	3	3	....	....
3	67.4	67.4	67.9	67.6	+ 4.7	67.2	68.0	SW. 0	SW. 1	SW. 1	SW. 1	0	0	10	3	....	....
4	67.8	68.6	68.8	68.4	+ 5.4	67.7	68.8	SW. 3	SW. 1	SW. 2	SW. 2	10	10	10	10	3.3	....
5	68.0	67.4	67.5	67.6	+ 4.5	67.2	68.3	SW. 3	SW. 1	SW. 4	SW. 3	10	10	10	10	0.5	....
6	68.4	69.1	69.0	**68.9**	+ **5.7**	68.3	**69.3**	SW. 2	SW. 1	SW. 2	SW. 2	10	10	10	10	2.2	....
7	68.6	68.8	69.0	68.8	+ 5.5	68.5	69.1	SW. 1	SW. 1	SW. 1	SW. 1	10	10	10	10	8.0	3
8	68.3	69.1	69.1	68.8	+ 5.4	68.3	69.2	SW. 1	SW. 1	SW. 1	SW. 1	8	8	10	9	....	....
9	68.0	67.7	68.2	68.0	+ 4.5	67.5	68.8	SW. 2	SW. 0	SW. 2	SW. 2	10	6	8	8	....	....
10	66.8	66.7	65.8	66.4	+ 2.8	65.3	67.7	SW. 2	SW. 0	SW. 1	SW. 1	10	10	10	10	0.8	....
11	63.7	63.3	63.0	63.3	- 0.4	62.8	65.3	SW. 0	SW. 1	SW. 1	SW. 1	8	2	10	7	....	....
12	61.4	62.1	62.5	62.0	- 1.8	61.3	62.8	SW. 0	SW. 0	NE. 1	SW. 0	4	5	10	6	2.2	....
13	62.4	63.3	64.6	63.4	- 0.5	62.2	64.8	NE. 2	NE. 1	NE. 0	NE. 1	10	3	0	4	....	....
14	64.3	65.7	67.1	65.7	+ 1.7	64.1	67.2	SW. 1	SW. 0	NE. 1	var.	10	10	10	10	0.6	....
15	66.8	67.4	68.1	67.4	+ 3.3	66.6	68.3	NE. 0	NE. 0	NE. 0	NE. 0	0	0	0	0	....	....
16	68.0	67.5	67.4	67.6	+ 3.4	66.9	68.2	SW. 2	SW. 1	SW. 1	SW. 1	7	6	10	8	....	....
17	64.8	64.0	62.0	63.6	- 0.7	60.8	66.9	SW. 4	SW. 2	SW. 3	SW. 3	10	10	10	10	4.2	....
18	59.5	59.3	59.5	**59.4**	- 5.0	**59.1**	60.8	SW. 2	SW. 2	NE. 0	SW. 2	10	10	10	10	**20.0**	**15**
19	60.9	62.7	63.9	62.5	- 2.0	60.2	64.5	NE. 3	NE. 2	NE. 1	NE. 2	10	10	10	10	**20.0**	13
20	65.1	65.9	66.6	65.9	+ 1.3	64.5	66.6	NE. 0	NE. 0	NE. 0	NE. 0	2	1	0	1	....	....
21	66.3	66.6	67.0	66.6	+ 1.9	66.2	67.2	SW. 2	SW. 2	SW. 1	SW. 2	6	10	5	7	....	....
22	66.9	67.1	67.5	67.2	+ 2.4	66.7	67.8	NE. 1	SW. 0	SW. 1	var.	1	8	10	6	....	....
23	66.8	67.0	67.0	66.9	+ 2.0	66.8	67.6	SW. 1	SW. 0	NE. 0	SW. 1	9	8	2	6	3.0	....
24	67.1	67.5	68.3	67.6	+ 2.7	67.0	68.4	NE. 0	NE. 0	NE. 0	NE. 0	0	4	1	2	1.5	....
25	67.4	66.4	67.2	67.0	+ 2.0	66.3	68.1	NE. 1	NE. 0	SW. 1	var.	0	1	0	0	....	....
26	67.4	67.3	67.5	67.4	+ 2.3	67.3	67.7	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	1	4	10	5	....	....
27	66.5	66.3	66.1	66.3	+ 1.1	66.0	67.4	NE. 1	NE. 1	NE. 0	NE. 1	2	1	0	1	....	....
28	64.1	63.2	62.4	63.2	- 2.1	62.2	66.0	NE. 0	SW. 3	SW. 0	SW. 1	8	3	10	7	4.0	....
29	60.2	60.0	60.6	60.3	- **5.1**	59.8	62.2	SW. 1	SW. 0	NE. 1	var.	10	0	10	7	8.4	....
30	61.8	63.6	64.8	63.4	- 2.1	61.0	64.9	NE. 1	NE. 0	NE. 0	NE. 0	10	3	10	8	....	....
31	64.7	65.3	65.7	65.2	- 0.4	64.7	65.8	NE. 0	NE. 0	NE. 1	NE. 0	5	7	10	7	....	....
Mois	65.59	65.82	66.08	65.83	+ 1.99							6.3	5.5	7.1	6.3	78.7	31

GRAND SAINT-BERNARD — MAI 1915

Jour du mois	Température							Fraction de saturation en %					
	7 heures	1 heure	9 heures	Moyenne 3 Observ.	Ecart avec la normale	Minimum	Maximum	7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 3 Obs.	Min.	Max.
	°	°	°	°	°	°	°						
1	- 1.7	+ 2.8	- 0.6	+ 0.2	+ 1.6	- **2.0**	+ 4.3	91	62	77	77	56	94
2	- 0.6	2.0	+ 0.2	0.5	+ 1.8	- 1.5	3.2	91	74	90	85	62	93
3	- 0.3	3.2	2.3	1.7	+ 2.8	- 1.0	4.5	79	72	95	82	60	97
4	+ 0.8	1.8	1.7	1.4	+ 2.4	+ 0.6	2.6	98	99	96	**98**	91	100
5	+ 0.8	1.5	0.3	0.9	+ 1.8	0.0	1.6	96	96	97	96	95	98
6	0.0	1.0	1.5	0.8	+ 1.5	- 0.3	1.8	97	97	98	97	92	98
7	- 0.1	2.3	0.8	1.0	+ 1.6	- 0.2	2.8	95	92	95	94	91	98
8	+ 3.0	4.8	4.1	4.0	+ 4.4	+ 1.4	5.3	83	86	94	88	74	96
9	3.0	5.4	3.9	4.1	+ 4.4	2.5	6.3	94	75	86	85	60	97
10	1.8	2.1	0.9	1.6	+ 1.8	0.6	2 4	95	92	95	94	88	98
11	1.5	3.5	1.6	2.2	+ 2.2	0.4	3.8	88	74	95	86	65	97
12	+ 0.7	2.6	0 3	1.2	+ 1.1	+ 0.1	3.7	91	91	97	93	68	98
13	0.0	6.8	+ 1.8	2.9	+ 2.6	0.0	7.3	95	62	74	77	46	97
14	+ 1.5	4.0	0.0	1 8	+ 1.4	- 0.3	4.5	82	82	95	86	48	96
15	0.9	7.8	+ 3.8	4.2	+ 3.7	- 0.5	8.5	55	60	64	**60**	34	68
16	2.8	6.6	2.4	3.9	+ 3 2	+ 1.7	7 4	79	70	95	81	46	96
17	+ 1.4	1.5	+ 0.5	1.1	+ 0.3	+ 0.2	1.8	96	98	98	97	96	98
18	- 0.1	1.2	- 0.9	+ 0.1	- 0.8	- 1.4	1.5	99	97	95	97	94	100
19	- 1.8	1.0	- 1.0	- **0.6**	- **1.7**	- 1.8	2.2	95	95	95	95	95	98
20	- 1.8	5 3	+ 2.8	+ 2.1	+ 0.9	- **2.0**	8.8	92	79	64	78	40	98
21	+ 4.3	5.2	4.3	4.6	+ 3.3	+ 3.5	5.5	89	86	83	86	64	93
22	4.5	8.6	2.3	5.1	+ 3.7	2.3	9.1	58	56	97	70	38	98
23	4.3	6.3	4.3	5.0	+ 3.4	3.8	7.2	76	72	80	76	57	87
24	3.3	10.8	4.5	6.2	+ 4.5	3.1	11.0	87	57	92	79	40	96
25	5.0	9.8	5.0	**6.6**	+ **4.8**	3.5	**11.3**	75	57	88	73	37	92
26	3.9	7.8	4.8	5.5	+ 3.6	3.2	8.2	74	60	83	72	38	91
27	4.3	9.4	4.6	6.1	+ 4.0	3.3	10.0	69	56	95	73	30	97
28	4.8	9.8	4.0	6.2	+ 4.0	3.7	11.0	76	61	100	79	**28**	100
29	3.0	6.3	2.5	3.9	+ 1.6	2.0	7.2	88	69	90	82	60	93
30	2.1	6.8	2.2	3.7	+ 1.3	1.8	8.6	95	71	95	87	47	96
31	+ 2.5	+ 7.3	+ 3.0	4.3	+ 1.8	+ 1.1	+ 9.5	56	48	90	65	41	94
Mois	+ 1.74	+ 5.01	+ 2.19	+ 2.98	+ 2.47	+ 0.90	+ 5.90	85	76	90	84		

MOYENNES DU GRAND SAINT-BERNARD — MAI 1915

Correction pour réduire la pression atmosphérique du Grand Saint-Bernard à la pesanteur normale : — $0^{mm}.22$. — Cette correction n'est pas appliquée dans les tableaux.

	Pression atmosphérique : 500mm +				**Fraction de saturation en %**			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
	mm	mm	mm	mm				
1re décade	67.71	67.90	67.98	67.86	92	85	92	90
2e »	63.69	64.12	64.47	64.09	87	81	87	85
3e »	65.38	65.48	65.83	65.56	77	63	90	77
Mois	65.59	65.82	66.08	65.83	85	76	90	84

Température.

	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne. $\frac{7+1+9}{3}$	Moyenne. $\frac{7+1+2\times9}{4}$
	°	°	°	°	°
1re décade	+ 0.67	+ 2.69	+ 1.51	+ 1.62	+ 1.60
2e »	0.51	4.03	1.13	1.89	1.70
3e »	3.82	8.01	3.77	5.20	4.84
Mois	+ 1.74	+ 5.01	+ 2.19	+ 2.98	+ 2.78

Dans ce mois l'air a été calme 344 fois sur 1000

Le rapport des vents $\frac{NE}{SW} = \frac{21}{70} = 0.30$

Pluie et neige dans le Val d'Entremont.

Station	Martigny-Ville	Orsières	Bourg-St-Pierre	St-Bernard
Eau en millimètres.....	37.2	47.1	62.2	78.7
Neige en centimètres....	—	—	—	31

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE

ARCHIVES DES SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLES

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LE TOME TRENTE-NEUVIÈME

(4me PÉRIODE)

1915 — Nos 1 à 6

Pages

La géométrie des feuillets «cotés», par *René de Saussure* 5

Idem (suite) 109

Idem (suite) 389

Idem (suite) 481

La stabilité des équilibres thermodynamiques et la mécanique statistique, par *A. Schidlof* 25

Sur les observations sismométriques faites en Suisse, par *A. de Quervain* (Avec la pl. I) 47

Sur l'individualité des ferments oxydants et réducteurs, par *A. Bach* 59

Les Cévennes méridionales (Massif de l'Aigoual). Etude phytogéographique, par *Josias Braun* 72

Idem (suite) 167

Idem (suite) 247

Idem (suite) 339

Idem (suite) 415

Idem (suite) 508

Etude de l'aimantation initiale en fonction de la température, par *P. Weiss* et *J. de Freudenreich* 125

Pages

Nouvelles observations sur la nature de la lumière zodiacale, par *F. Schmid* 149

Idem (suite et fin) 237

La théorie des probabilités et la physique, par *Edouard Guillaume* (Deuxième partie) 205

Idem (suite) 301

L'absorption des radiations ultra-violettes et infra rouges par la terre arable, par *J. Fidel Tristan* et *Gustave Michaud* 270

Observations météorologiques faites aux fortifications de Saint-Maurice pendant les mois de mars, avril et mai 1914 274

Idem, pendant les mois de juin, juillet et août 1914 359

Idem, pendant les mois de septembre, octobre et novembre 1914 539

Note sur les diagrammes sismiques du 13 janvier (Avezzano) et du 18 janvier 1915 (Suisse), par *A. de Quervain* (Avec les planches II et III) 324

Nouvelles recherches sur les ferments oxydants, par *R. Chodat* 327

VII. Action de l'acide carbonique sur la tyrosinase, par *R. Chodat* et *K. Schweizer* 327

VIII. Production du benzaldéhide par la tyrosinase, par *R. Chodat* et *K. Schweizer* 331

IX. La peroxydase comme réactif de la photolyse par la chlorophylle, par *R. Chodat* et *K. Schweizer* 334

Détermination expérimentale des éléments critiques de l'oxygène, de l'azote, de l'oxyde de carbone et du méthane, par *Ettore Cardoso* 400

Densités des phases coexistantes du méthane et de l'oxyde de carbone, par *Ettore Cardoso* 403

Sur l'identité des ferments oxydants. Réponse à M. Bach, par *Mlle G. Woker* 405

Détermination de la charge élémentaire d'électricité par les propriétés ferromagnétiques et le magnéton, par *Jakob Kunz* 488

Pages

Appareil d'induction permettant de repérer la position des projectiles, par *A. Chilowski* 494

La peroxydase existe-t-elle dans la levure de bière, par *A. Bach* 497

Société suisse de physique

Communications ayant figuré à l'ordre du jour de la séance qui devait avoir lieu à Berne le 2 septembre 1914

Prof. de Kowalski. Etude sur la décharge sans électrodes. — Ed. Guillaume. Sur les probabilités en physique. — Prof. P. Gruner. Applications d'analogies électro-élastiques. — Prof. Ch.-Eug. Guye et P. Woïkoff. Déterminations du frottement intérieur aux températures basses. — Prof. Ch.-Eug. Guye et A. Tscherniavski. Nouveau modèle d'électromètre sous pression. — Prof. Ch.-Eug. Guye et Ch. Lavanchy. Inertie des électrons cathodiques de grande vitesse. — A. Schidlof et A. Karpovicz. Détermination de la charge de l'électron au moyen de très petites gouttes de mercure. — A. Tscherniavski et Popoff. Ecoulement du mercure par les fils étamés. — Ed. Berchten. Frottement intérieur aux températures élevées. — Th. Christen. Les mesures de rayonnement en médecine. — Prof. A. L. Bernoulli. Relation quantitative entre la viscosité et la fréquence ultra-rouge de la sylvine, du sel marin et de quelques métaux. — M. Carrard. Sur la chaleur spécifique des ferro-magnétiques. — Prof. P. Weiss et A. Piccard. L'aimantation du nickel en fonction du champ et de la température. — Prof. P. Weiss. Nouvelles mesures magnétiques. — H. Zickendraht. Récepteur radiotélégraphique universel. — Prof. A. Forster. *a)* Applications scientifiques des autochromes ; *b)* Communication provisoire sur l'influence de la température sur la luminescence cathodique. — Prof. F. Ehrenhaft. L'électricité a-t-elle une constitution atomique ? — Prof. A. Hagenbach et W. Frey. Objections à la théorie de l'arc de Simon. — E. Steinmann. Mouvement sur le plan incliné. *a)* Détermination de la vitesse à un moment donné ; *b)* détermination de la force de freinage et de l'accélération négative due à cette force 82

Compte rendu de la séance de la Société suisse de physique du 1er mai 1915, à Lausanne

Pages

Partie administrative. — C.-E. Guye. Les équations de conditions des courants dérivés semblables et leurs applications. — Ed. Guillaume. La théorie des probabilités et la physique. — F. Chappuis. Détermination de la dilatation du mercure par la méthode absolue. — H. Zickendraht. Courbes d'accouplement pour différentes longueurs d'étincelles. — Aug. Hagenbach. Une nouvelle loi de dispersion rotatoire des séries homologues. — H. Veillon. Un ondomètre de construction simple. — A. Piccard et O. Bonazzi. Une mesure de la susceptibilité des gaz diamagnétiques. — A. Piccard et A. Carrard. *a)* Calorimètre adiabatique. *b)* Calorimètrie des ferro-magnétiques. — A. Jaquerod. Manipulation pouvant contribuer à illustrer un cours de physique mathématique. — Edouard Mack. Sur le rôle de la diffusion dans la formation des corps endothermiques aux températures élevées. — Paul-L. Mercanton. Un nouveau néphéloscope à miroir. 435

Compte rendu de la séance de la Société suisse de chimie du 27 février 1915, à Soleure

Partie administrative. — A. Werner. Acides complexes métal-oxaliques et métal-maloniques. — Fr. Fichter. Azoture de glucinium. — W. I. Baragiola. Les cendres du vin. — O. Billeter et B. Wavre. Autoxydation des dérivés de l'acide thiocarbonique. — O. Billeter. Dosage des oxacides du soufre. — J. Lifschitz. Synthèse de dérivés pentazoliques. — J. Piccard. Vitesses de réaction. — D. Reichinstein. Le principe de déplacement. — P. Pooth. Influence du groupe sulfonique et d'autres radicaux sur la coloration des azométhines. — A. Küng. Expériences de cours. — G. Oesterheld. La fusion du carbone 366

Compte rendu des séances de la Société de physique et d'histoire naturelle de Genève

Séance du 3 décembre 1914. — Arnold Pictet. Sur le prétendu hydrotropisme et géotropisme chez les Insectes. 187

Pages

Séance du 16 décembre. — J. Carl. Sur une larve d'Orthoptère du type « Myrmecophana ». — Ch.-Eug. Guye. A propos des sous-électrons. — A. Schidlof et A. Karpowicz. Résultats des expériences faites avec des gouttes de mercure en vue d'une détermination de la charge de l'électron..... 190

Séance du 21 janvier 1915. — Aug. de Candolle. Rapport sur l'activité de la Société pendant l'année 1914.... 281

Séance du 4 février. — Raoul Pictet. Expériences sur les nouveaux procédés destinés à obtenir de l'azote chimiquement pur de l'air atmosphérique, ainsi que du gaz à l'eau par un procédé continu utilisant l'oxygène et la vapeur d'eau se transformant à l'aide du charbon incandescent. — Ed. Claparède. Etat hypnoïde chez quelques animaux..... 281

Séance du 18 février. — Amé Pictet. Un cas de catalyse par l'acide nitreux. — Arnold Pictet. Sur l'équilibre naturel entre les diverses espèces initiales..... 456

Séance du 4 mars. — A. Bach. Les ferments oxydants et réducteurs de la levure..... 460

Séance du 18 mars. — Amé Pictet. Les constituants de la houille et leurs relations avec ceux du pétrole. — Emile Yung. De la croissance des ongles..... 546

Compte rendu des séances de la Société vaudoise des Sciences naturelles, à Lausanne

Séance du 18 novembre 1914. — Maurice Lugeon. Sur l'ampleur de la nappe de Morcles 553

Séance du 2 décembre. — M. Martinet. Sur un croisement entre le blé ordinaire *(Triticum vulgare)* et le blé sauvage *(Triticum dicoccoïdes).* — P. Murisier. L'influence de la vision sur la coloration cutanée des Vertébrés inférieurs. — M. Jacot-Guillarmot. Taches du soleil..... 554

Séance du 16 décembre. — M. Linder. Rapport sur la marche et la gestion de la Société pendant l'année 1914. — H. Blanc. Présentation d'un mémoire non publié de feu Georges Du Plessis intitulé : Etude sur une hydroméduse d'eau douce qui habite le petit Argens, près de Saint-Raphaël. — Maurice Lugeon. Sur l'entraînement des terrains autochtones en dessous de la nappe de Morcles..... 555

BULLETIN SCIENTIFIQUE

PHYSIQUE

Pages

O. Lummer. Fusion du carbone et obtention de la température du soleil 286

A. Righi. Les rotations ionomagnétiques 378

M. v. Laue. Les interférences des rayons Röntgen produites par les réseaux cristallins 558

Dr Max-B. Weinstein. Forces et tensions ; les champs gravitique et rayonnant 558

PHYSIQUE DU GLOBE

G. Platania. Sur l'émanation d'anhydride carbonique dans le flanc oriental de l'Etna 462

MÉTÉOROLOGIE

Julius von Hann. Manuel de météorologie 97

ASTRONOMIE-GÉODÉSIE

E. Przybyllok. La variation des latitudes 193

CHIMIE

L'industrie chimique bâloise à l'Exposition nationale suisse de Berne 97

F. Kehrmann et *A. Loth.* Sur la résorcine-benzéine (oxy-3-phényl-9-fluorone) 194

F. Kehrmann et *F. Wentzel.* Historique de la théorie du quinocarbonium 195

F. Kehrmann et *Neil.* Synthèse dans le groupe des azoxines 378

H. Becker et *A. Bistrzycki.* Sur l'acide mercapto-diphényl-acétique ou thiobenzylique 463

F. Kehrmann et *L. Diserens.* Contribution à la connaissance des sels de phenazthionium 464

F. Kehrmann et *D. Kissine.* Synthèse de l'amino-2-oxy-3-phénazine 559

GÉOGRAPHIE

Pages

S. Brunies. Le Parc national suisse 98

O. Fuhrmann et *Eug. Mayor.* Voyage d'exploration scientifique en Colombie 287

Liste bibliographique des travaux de chimie faits en Suisse 289

Idem 465

Mesures du courant électrique passant de l'atmosphère à la terre, faites à Altdorf et à Fribourg, par *B. Huber* et *A. Gockel.*

Mois de Novembre 1914 99

» Décembre 100

» Janvier 1915 196

» Février 292

» Mars 380

» Avril 472

» Mai 560

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES
faites à Genève et au Grand Saint-Bernard

Observations météorologiques faites pendant le mois de décembre 1914 101

Observations météorologiques faites pendant le mois de janvier 1915 197

Observations météorologiques faites pendant le mois de février 1915 293

Observations météorologiques faites pendant le mois de mars 1915 381

Observations météorologiques faites pendant le mois d'avril 1915 473

Observations météorologiques faites pendant le mois de mai 1915 561

New York Botanical Garden Library
3 5185 00274 1062